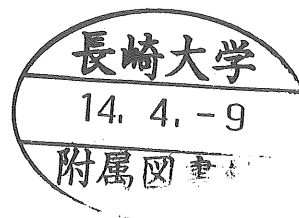


# フラクタル解析とゆらぎ解析を用いた 多様な環境共存場の状態評価に関する研究



2001年12月

長崎大学大学院  
海洋生産科学研究科

内田篤志

目	次	頁
第1章 序論		1
1. 1 本研究の目的		1
1. 2 本論文の内容と構成		4
第1章の参考文献		5
第2章 多様化した環境共存場の評価手法について		6
2. 1 フラクタル理論と空間周波数解析		6
2. 2 フラクタルや空間周波数を用いた研究例		9
2. 3 フラクタル理論		11
2. 3. 1 フラクタルとは		11
2. 3. 2 フラクタル次元		15
2. 3. 3 ボックスカウニング法		18
2. 4 空間周波数解析と $1/f$ ゆらぎ		20
2. 4. 1 空間周波数解析とは		22
2. 4. 2 空間周波数の解析方法		24
2. 4. 3 $1/f$ ゆらぎ		25
第2章の参考文献		26
第3章 フラクタル次元を用いた地形環境の評価		28
3. 1 人工衛星リモートセンシングの概説		28
3. 2 人工衛星データを用いたフラクタル解析		30
3. 2. 1 解析方法		31
3. 2. 2 人工衛星データと地図情報データ		32
3. 3 河川線形のフラクタル性評価		34
3. 3. 1 世界の河川		34
3. 3. 2 北部九州の河川		40
3. 4 海岸線形のフラクタル性評価		61
3. 4. 1 世界の海岸線		61
3. 4. 2 北部九州の海岸線		63
3. 5 まとめ		77
第3章の参考文献		78
第4章 ゆらぎ指数による地形景観の評価		79
4. 1 地形の変化		79



4. 2	日本を構成する代表的な地形	82
4. 3	研究地域の特徴	85
4. 3. 1	解析の手順	86
4. 3. 2	対馬	87
4. 3. 3	壱岐	89
4. 3. 4	福江島	91
4. 4	まとめ	93
第4章の参考文献		94
第5章	高速道路でのロードキル発生に関する道路環境の評価	95
5. 1	はじめに	95
5. 2	道路が自然に与える影響とその範囲	97
5. 2. 1	道路が自然に与える影響	97
5. 2. 2	道路が自然環境に及ぼす影響の範囲	98
5. 3	ロードキルについて	101
5. 4	長崎自動車道におけるロードキルの実態調査	102
5. 5	ロードキル発生場所の空間周波数解析結果と考察	105
5. 6	まとめ	109
第5章の参考文献		110
第6章	交差点での交通事故に関する交通環境の評価	111
6. 1	交通事故の現状	111
6. 2	交通事故の要因	112
6. 3	交通事故発生メカニズム	114
6. 4	解析の手順	116
6. 5	熊本県における交差点での交通事故	117
6. 5. 1	熊本県内の交通事故状況	117
6. 5. 2	熊本市内の交差点におけるゆらぎ性評価	119
6. 5. 3	解析結果	121
6. 6	長崎県における交差点での交通事故	123
6. 6. 1	長崎県内の交通事故状況	123
6. 6. 2	長崎市内の交差点におけるゆらぎ性評価	125
6. 6. 3	解析結果	128
6. 7	まとめ	134
第6章の参考文献		136

第7章 公園景観に関するゆとり環境の評価	137
7. 1 はじめに	137
7. 2 天神中央公園の景観評価	138
7. 2. 1 公園の概要	138
7. 2. 2 解析の手順	139
7. 2. 3 解析結果	140
7. 2. 4 考察	145
7. 3 長崎市中園公園の整備前・後における景観変化の評価	151
7. 3. 1 中園公園の概要	151
7. 3. 2 解析結果とまとめ	152
7. 4 中園公園の整備前・後におけるアンケート調査	168
7. 4. 1 アンケート調査の概要	168
7. 4. 2 アンケート結果と考察	169
7. 5 ゆらぎ指数とアンケート結果の考察	175
7. 6 まとめ	176
第7章の参考文献	178
第8章 成果と展望	179
謝辞	183

## 第1章 序論

### 1. 1 本研究の目的

明治以降の急速な欧米化・高度成長と無秩序に展開されてきた建設事業により、国内の多くの自然が失われ、残された負の遺産のため、現在様々な障害が顕在化しつつある。その様な背景から近年、建設事業の実施に合わせて自然環境を保全・創出することが求められているが、それに関する技術は確立しているとは言い難い。個々の施工技術には優れたものがあるが、総合的に事業を進める上ではまだ不十分である。

世界に目を向けると、南極上空のオゾン層の破壊による紫外線の増加や熱帯雨林地帯の減少に伴う小雨・砂漠化など、長年に渡る先進諸国の無秩序な経済活動が、地球環境にもたらした影響は計りしれない。インド洋や南太平洋に点在する島々では、海面上昇は、重大な国家の危機問題である。この様な地球規模の環境問題として、地球温暖化にやっと国際協調による温暖化防止条約が制定され、温暖化ガス排出削減目標を制定されたのが1997年の京都会議議定書である。国際的な環境問題への対策の一つとして、自然環境を考慮した事業展開も重要な位置を占めるようになってきた。

自然環境というものは、長い歴史の積み重ねで形成されるものであり、その中に動植物相互の微妙なバランスが保たれている。これまで永い年月を経て様々な形で変遷を遂げ、今後とも変化していくのが自然な流れである。しかし、その変化というものは徐々に進むのが通常であり、急激な変化というのは突発的な災害など希なケースである。自然環境は一旦改変されると復元することは容易なことではない。戦後の急成長に代表されるように、疲弊した経済復興からあっという間に世界第二位の経済大国に成った道程を振り返ると、自然摂理の速度を無視した、効率化優先の経済活動のために自然環境が急激に失われてきたことが判る。

今後の建設事業において自然環境を保全・創出していくという考え方は、こうした“ゆっくりとした時の流れ”を前提とした考え方が必要となっている。これまでの建設手法は、即効性と効率性を重視し、自然が徐々に作り上げていく“周辺に適合した環境”を配慮することなく、またこうした観点での施工技術は開発されてこなかったのが現状である。これからの建設事業の役割は、目標とする環境に持っていくためのきっかけを作ることであると考えられる。事業を推進する立場としては、施工段階において、その段階毎により良い自然環境が形成されるような方向に導くことが最良であるとする。自然環境と一口でいっても非常に多岐に渡るが、地圏、水圏、気圏から構成される空間に属する生態系の環境といえる。ここでいう「生態系（エコシステム）」とは、様々な要素によって有機的に構成された自然のシステムのことである。

生態系を構成する主な要素は、

- ① 水
- ② 空気
- ③ 太陽エネルギー
- ④ 多様化した生き物
- ⑤ 表土

に大別される。

人類も生態系の構成員であるが、産業革命以来長期間に渡り経済成長を迫及する急激な開発行為において、公害という形で直接・短期間に地球環境に影響を及ぼし、自らの属する生態系を破壊してきた。今までの開発は、経済効率のみに偏重しており、人類を含めた生態系に再生不可能に近いダメージを与えたものであった。この様な点に立脚し、21世紀に求められている持続可能な開発に当たって、生態系ピラミッドのバランスを損なわない開発計画が必要とされている。

人類を取り巻く環境には様々なものがある。自然環境は国土を形成している地形とそれに育まれた生態系との融合である。しかし、日頃目にする山並みや河川形状も次第に開発の影響を受け変化している。平成11年6月に制定された環境影響評価法においても、重要な地形や地質は影響評価を実施すべき対象となっている。日本の自然を代表する地形は、日本の自然環境の特徴とそれに関わる地形として整理すると次の様な事項をあげることができる。<sup>1)</sup>

- I 地殻変動が激しい。
- II 火山活動が盛んである。
- III 降水量の多さを反映して河川による侵食が活発である。
- IV 気候変動の地域差が大きい
- V 四方を海に囲まれた環境である。
- VI 複雑な地質で形成されている。

この様に日本全土には様々な地形が分布しており、これらが複合して日本という国土が形成されているのが判る。その一方で、生活の快適さのみを追求し、これらの貴重な地形が失われているのも事実である。特徴ある日本の地形の中において、自然河川や溪谷、自由蛇行などの河川地形はもはや大部分の地域でほぼ消滅してしまっている。ダムや砂防ダムがない本来の河川というものが、どのように流れ、どのように砂礫を運び、そこにどのように生物が生息するか、等といった点を知る上で自然の河川を持つ意味はきわめて貴重である。河川地形のように、その保存にあたっては、当該地形の存在する場所だけでなく、上流域のような、その場以外の場所まで含めて考える必要がある場合もある。またサケやマスの遡上、それを食べるヒグマやシマフクロウの生態、さらにはサケやマスの死亡による河川上流域へのカルシウム分の環流などといった、河川の生態系全体への影響を考えてみても、こうした自然河川の存在は重

要である。ただ動植物と違って地形には規模の大きいものが多く、かつ人の生活の場となっている場合も少なくない。また時には防災上やむを得ず貴重な地形を破壊せざるを得ない、という場合もあるであろう。従って、その保護を進めるには複雑で難しい問題が多々あり、保存にあたっては関係法令の整備など、時間のかかる課題も少なくない。しかしながら、地形の保護は、けっして地形学だけの問題ではなく、動植物の保護等の生態系全体をふまえた保護にもそのまま連動するといえる。

昨今の建設活動では道路におけるエコロードの採用やのり面緑化工法、河川においては多自然型河川工法等、自然保護や生態系保全を視野に入れた工法の採用が行われているが、まだ緒についたばかりであり試行錯誤を繰り返しながら進められているのが現状である。

以上を鑑み、本研究は、

『人々が生活する社会環境や自然環境を対象として、フラクタル理論とゆらぎ理論を用いて、地形改変や対策工の効果等の環境モニタリング手法並びに生活空間で発生するロードキルや交通事故、また身近な公園景観など、多様な空間に含まれる固有の特徴を分析し、より安全で良好な空間創造を行うための指標化を試みた。』ものである。

## 1. 2 本論文の内容と構成

21世紀における新しい国土創造では、自然環境を保全・創出しながらプロジェクトを遂行する意識は非常に高まっているが、その評価は自然ができあがっただけの歳月を要することになる。

本研究では、開発などにより変化を遂げている様々な要素が共存する環境場を対象として、複雑系の科学として知られているフラクタル解析と空間周波数解析を用いて、その状態を分析・評価を行ったものである。

研究対象として、河川や海岸線の形状・地形・交通事故・公園景観等を取り上げた。

第2章では、本研究で大きな役割を担うフラクタル解析と空間周波数解析の基本的概念と解析手法について整理するとともに、衛星リモートセンシングデータをフラクタル次元解析に適用するための手法を述べた。

第3章では、人工衛星データの容易な入手性と正方形メッシュデータの特徴からフラクタル次元測定の迅速性に着目し、地形変化の評価手法として、国内外の多くの河川線形並びに海岸線形についてフラクタル次元解析を実施し、人工衛星データ利用の適用性を述べた。

第4章では、地形固有の特徴を定量化するため、長崎県内の対馬、壱岐、福江島を対象として、各島の地形断面について空間周波数解析を実施し、その断面形状がもつゆらぎ指数の違いから、地形を特徴つける地域性を分析・評価した。

第5章では、高速道路上のロードキルに着目し、事故の多発地点と少ない地点の空間的特徴の違いが有るのではないかと考え、空間周波数解析によるゆらぎ指数を用いて、発生地点固有の特徴を分析・評価した。

第6章では、交通事故が多発する地点とそうでない地点で、運転時の視野に入る景観が運転者に与える影響について、それぞれの空間的特徴をゆらぎ指数を用いて分析・評価した。

第7章では、人々に安らぎを与える公園景観の特徴把握を目的として、都市公園と児童公園についてゆらぎ指数を用いた景観評価を実施すると共に、アンケート調査結果から利用者意識について解析値との対比を行い、ゆらぎ指数により公園景観の違いを分析・評価した。

第8章で、結論として、本研究の成果と今後の展望を述べた。

## 第 1 章の参考文献

- 1) 小泉武栄・青木賢人 (2000) : 日本の地形のレッドデータブック, 古今書院, pp. 1~4
- 2) (社) 土木学会 (1994) : 土木学会誌別冊, 地球共生時代の土木, Vol. 79-5, 128p.
- 3) (社) 地盤工学会 (1995) : 土と基礎, 小特集 土と景観, Vol. 43, No. 1, Ser. No. 444, 21p.
- 4) (社) 地盤工学会 (1997) : 土と基礎, 小特集 生態系をまもる, Vol. 45, No. 1, Ser. No. 468, 37p.
- 5) 土木春秋社 (1999) : 地質と調査, 小特集 自然 (生態系) との共生を考慮した開発, 第 1 号, 通巻 79 号, 28p.
- 6) 土木学会シンポジウム実行委員会 (1999) : 1999 年土木学会地域シンポジウム, 共生と循環, 173p.
- 7) (社) 地盤工学会 (2001) : 土と基礎, 小特集 地盤工学における生態系を考慮した環境評価, Vol. 49, No. 9, Ser. No. 524, 52p.

## 第2章 多様化した環境共存場の評価手法について

### 2. 1 フラクタル理論と空間周波数解析

フラクタル，カオス，ニューラルネットワークなど複雑系に関する概念は，近年，数学，物理学，生理学，精神医学，生物学，生態学，数理工学，電気工学，電子工学，船舶工学，土木工学，地震学，情報科学，地球物理学，気象学，天文学，政治学，社会科学などさまざまな分野において，科学，技術そして社会への影響について現状と将来への可能性の研究に利用されている．

その背景として次のようなことが考えられる．一般に線形システムにおいては，その任意の状態の変化法則は状態変数の1次式として表される．そして線形でないすべてのシステムを”非線形システム”と呼ぶ．よく知られているように線形システムに関しては既に精緻な理論体系が構築されており，今日の科学技術は基本的にこの線形理論に立脚して進歩してきたものと言って過言ではない．容易に想像できるように，この世の中のほとんど全てのシステムは，自然物，人工物を問わず厳密には非線形である．そのため様々なシステムを取り扱う際に暗黙に仮定されているのがいわゆる「線形近似」である．すなわち，非線形と判っているが，線形システムで取り扱うために，近似することで理解しようという発想である．ところが，20世紀の科学の進歩に伴い，本質的に重要なのは非線形性であり，線形近似ではもはや近似しているとはいえない現象が見いだされてきた．その非線形システムの典型的性質が，カオス，フラクタルなどの複雑系と呼ばれる”非線形科学”である．その中でも，フラクタル理論は，幾何学や芸術分野以外にも様々な自然現象を捉えるものとして脚光を浴びている．フラクタルの概念は，これまで地質学をはじめとした地球科学分野へも様々な適用されているが，応用地質学や土木工学などへの技術的な応用は充分とは言えない<sup>1), 2)</sup>．

フラクタル (Fractal) とは，1975年にマンデルブロー (Mandelbrot) が造った新しい造語で，部分と全体とのかかわりで扱うことのできる図形，構造，現象，分布を指す言葉で，全体の幾何学構造が，それ自身を縮小して構成した部分の和として表される．つまり自己相似であることをいう．その概念は，複雑な現象や偏った現象を解明する道具として用いられる．マンデルブロー自身，1967年のScienceで海岸線の長さが使う物差しの長さにより変化することを示し，海岸線の形状のいわゆるフラクタル性を指摘していたが，当時は懐疑的に扱われていたようである．これが注目を浴びるのは，コンピュータ・グラフィックスによって地形形状を表現できるようになった1980年代に入る頃からである<sup>3)</sup>．コンピュータ・グラフィックスにより表現したフラクタル画像の一例を図-2.1.1に示す．

自然界にはフラクタルな形状が多い．雲の形，樹木の枝別れ，河川の枝別れ，海岸線，ひび割れ，宇宙の星の分布まで多くのものがフラクタルといわれている．自然界



に存在する多くの複雑な構造や現象は，フラクタルの考え方を応用して解析できるものが多い。

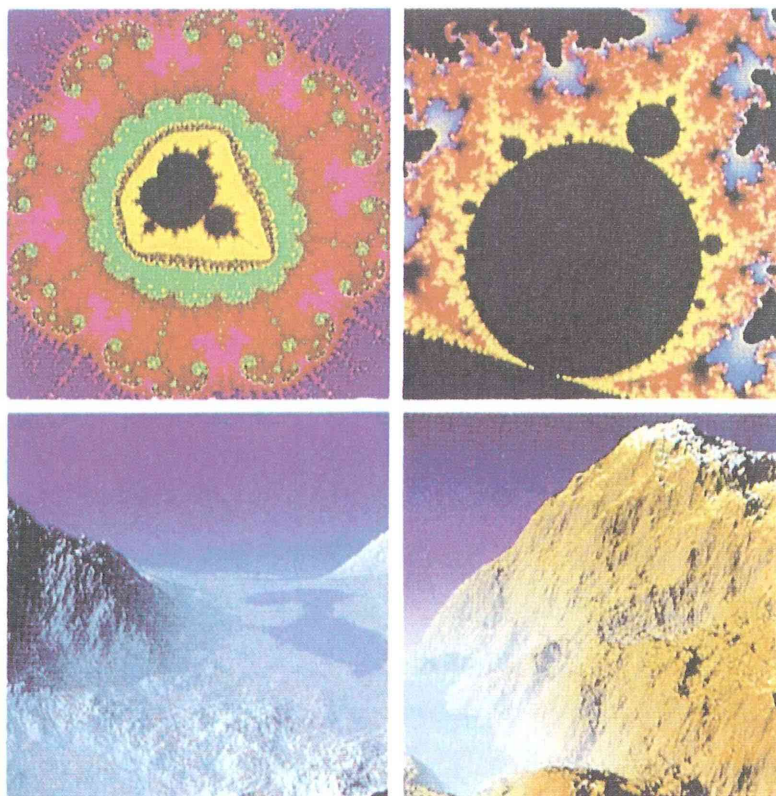
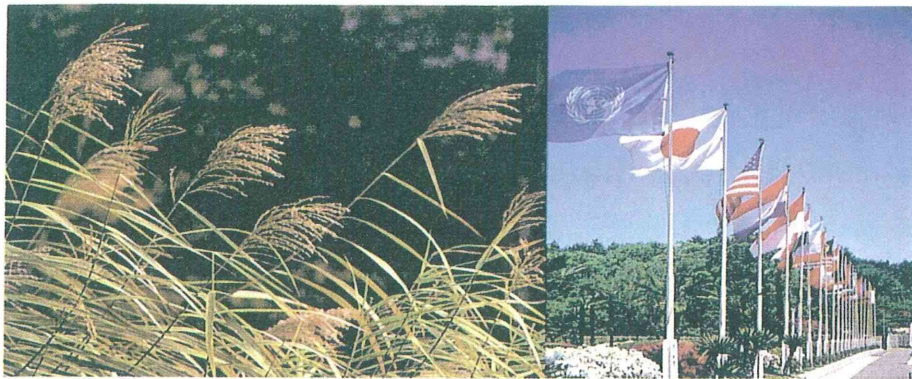


図-2.1.1 Computer Graphicsを用いたフラクタルの表現例<sup>3)</sup>

フラクタル次元を求める方法の一つであるボックスカウンティング (Box-Counting) 法は，正方形メッシュデータを作成して求める方法である．本研究ではこの点に着目し，宇宙から送られてくる人工衛星データが，基本的に正方形メッシュデータとして成り立っている性質上，解析手順としていちいち対象物（又は，対象地）を正方形で細分する必要がなく，かつ極めて容易にその個数をコンピュータで計算できる利点があるため，フラクタル次元の測定を容易に行うことができるのではないかと考え，河川線形及び海岸線形を対象として本研究を進めた．

フラクタル以外に身近な複雑系の解析手法として空間周波数解析がある．その周波数特性から得られる“ $1/f$ ゆらぎ”が人間に好まれることが指摘されている．小川のせせらぎ，木の年輪，クラシック音楽，手紡ぎの織物，絵画など，人が“やすらぎ”や“心地よさ”を感じるものの時間的，または空間的な変化を分析すると“ $1/f$ ゆらぎ”と呼ばれる共通の特性を示すことが知られている．他にも天体運動や地球への磁力線放射といった宇宙規模の“ゆらぎ”から，太陽の光，天候，風，波，川の流れなど，自然界のゆらぎやブラウン運動などの物理的なゆらぎ，心拍，呼吸，脳波，眼球の微細振動など生体の“ゆらぎ”，株価や景気などの経済的な“ゆらぎ”，生物の進化や人間感情に至るまで，様々な“ゆらぎ”が存在している．また，人は体内リズムと同じ“ゆらぎ”を持つ外的な刺激を快適に感じると推察されている．

身近なこちよいと感じる“ゆらぎ”の例を図-2.1.2に示す．



不規則に動くのがゆらぎ。風はゆらぎの代表

図-2.1.2 心地よいと感じる“ゆらぎ”<sup>4)</sup>

“ゆらぎ”自体を言葉で的確に表現することは難しいが，ものの変化，そして，その変化が不規則な様子，予測のできない変化に対して“ゆらぎ”という用語が用いられる．

“ $1/f$ ゆらぎ”とはそもそも，真空管の中を流れる電子流の雑音を測っていたときに見つかったものである．ランダムな電子の放出がショットノイズをつくり，このときのスペクトルが低い周波数部分において周波数に反比例してスペクトルレベル（スペクトル密度）が増加するスペクトルが観測された．ただ“ゆらぎ”は，その波形や軌跡の全てがそれぞれ意味を持っているというほどには情報密度が高くない．従って，全波形・全軌跡をそのまま追跡するような必要が生じることはなく，ある種の統計的な性質だけが分かればそれでよい，という場合がほとんどである．

本研究では，このように様々な形で自然界に存在する“フラクタル”や“ゆらぎ”の性質を利用して，身の回りの環境や景観など様々な空間の持つ固有の特徴評価を試みた．

## 2. 2 フラクタルや空間周波数を用いた研究例

従来は、揃っているものが美しいと見なされてきた。その一方で、“みだれ”や“ゆらぎ”など乱調の美といった、あいまいな状況が人の感性に好意的に受けとられるのも事実である。この様な側面については、フラクタル解析や空間周波数解析が定量的評価に利用できそうである。

様々な分野において複雑系理論を用いた論文が提出されているが、その内、自然・環境の評価を試みた論文例を要約する。

### (1) フラクタル系

フラクタルを指標とした論文としては、河川設計・岩盤の亀裂分布、地すべりの分布や不同沈下量の推定等、一部を抜粋しただけでも多岐に渡っていることが分かる。

大野ら<sup>5)</sup>は、海岸線の形状、河川の分岐や山肌の形状など自然景観のもつかたちの法則性について着目し、フラクタル次元を用いた景観設計への適用の可能性を示唆している。

久保田<sup>6)</sup>は、地すべり発生個数と占有面積の関係にフラクタル性を指摘し、航空写真判読から地すべり地跡の輪郭について、フラクタル次元を求めることで、発生の多数並びに発生形態の複雑さを表現できるとしている。同様なものとして、佐々木ほか<sup>7)</sup>は、斜面崩壊の規模と発生数の関係にフラクタルを応用し、ある規模の斜面崩壊について最大幅と個数の関係にフラクタル性を見いだしている。

大野・小島<sup>8), 9), 10)</sup>は、フラクタル的な幾何パターンに着目して岩盤の亀裂や割れ目の分布やバラツキにフラクタル特性を見いだしている。同様な見地から佐藤・市川<sup>11)</sup>による岩盤フラクチャーのフラクタル次元と水理特性の相関や平田<sup>12)</sup>による断層とフラクタルの関係など地質分野での利用も多く見られる。

脇田・松尾<sup>13)</sup>は、地盤沈下で生じる不同沈下の性質をフラクタル的な性質として捉え、それを応用した沈下量の推定を試みている。

### (2) 空間周波数系

近年様々な分野で研究や設計と実践的試みがなされている。空間周波数を用いたものとしては、景観として捉え、人間工学の面から心地よさに着目したものや、周囲景観の適・不適を評価する視覚効果の面に利用している。久保田<sup>14)</sup>は、砂防治山施設に対する景観上の配慮の一環として、溪流及び流路工の流水面パターンについて、好ましい水面パターンについて $1/f$ ゆらぎが視覚的效果に関して有意であると結論している。

実践的な適用の試みとしては、歩行空間整備の一環として歩道デザインに $1/f$ ゆらぎを利用した事例がある。小栗・寺川<sup>15)</sup>は、歩行者空間の整備を行う上での要素として街路樹、照明、歩道舗装を取り上げ、それぞれの配列やデザインに $1/f$ ゆらぎ理論を適用して歩道整備の景観設計に利用している。直線的、規則的、画一的なデザインを排

除し，人の感性にあった快適な環境づくりを行う上で歩道周囲の環境条件を考慮し，舗装を対象としたデザインが設計・施工されている．

これらは一例であるが，フラクタルや空間周波数を用いた研究は様々な分野に応用されている．



## 2. 3 フラクタル理論<sup>16), 17)</sup>

### 2. 3. 1 フラクタルとは

複雑でこれまでの科学が無視してきたもの、例えば「雷がどうしてあのような形で落ちるのか?」「樹木の枝分かかれはどうしてあのような形になるのか?」など、判りそうで判っていないことが我々の身の回りには沢山ある。一方、これまでの科学では、細部に分解することで、その周りに起きる現象、例えば、水の流れや地盤の動きを解明することができた。これはこれで、ものの大枠の現象を捉えることに役だってきたが、それは平均的なものの理解であり、偏った現象の理解には役立ってこなかった。

例えば、「どうしてこの壺はここだけにひび割れが生じたのか?」「どうしてこの石だけが落石して、他の石は落ちなかったのか?」など、平均的なものの考え方（微分や積分を用いるものの考え方といってもよい）では取り扱えない現象も多く見られる。

フラクタルは、部分と全体との関わりで扱うことのできる図形、構造、現象、分布を指す言葉で、その概念は、複雑な現象や偏った現象を解明する道具として用いることができ、特徴的な長さを持たない様な図形や構造、現象などの総称である。このフラクタル (Fractal) という言葉の語源は、ラテン語の形容詞fractusである。この語の派生語であるfractional (小数の) やfracture (破砕) などの英単語からも推測できるように、fractusは、物が壊れて不規則な破片になった状態を表している。したがって、フラクタルという語に対しても、小さな破片や大きな破片がたくさん集まった状態を思い浮かべると理解しやすい。

この概念が示す特徴は、様々な科学分野でそれ以前からある程度示されていた。例えば、地震の大きさと頻度を表したグーテンベルグーリヒターの式、河川の枝分かれに関するホートンの法則なども言葉こそ「フラクタル」とは言っていなかったが、フラクタルの概念そのものを意味している。

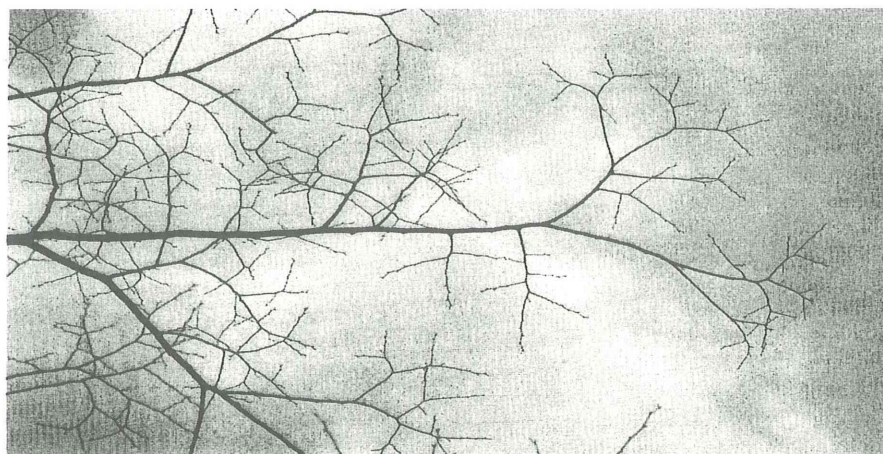


図-2.3.1 身近なフラクタル (木の枝) <sup>18)</sup>

その後フラクタルの発展はめざましく、自然科学の各種の分野だけでなく、社会科学にまで影響を及ぼしている。異なる分野に属する現象同士に類似性のあることが、フラクタルを通して明らかになった例もある。フラクタルは、細分化された現代科学の各分野を結びつける横糸のような役割を果たしつつあると言える。

自然界に存在するあらゆる形や、人類が今までに考えたあらゆる図形は、おおまかに2つに分類することができるといえる。一方は特徴的な長さを持つ図形であり、もう一方は特徴的な長さを持たない図形である。特徴的な長さを持つ形の基本的なものは、幾何学的に単純な形であるが、それらの基本的な形には共通する大切な性質がある。それは、その形を構成する線や面の滑らかさである。もう一つの特徴的な長さを持たない形は、例えば積乱雲の形を取り上げると、もくもくとわき上がった雲の各部分は球に近い形に見えるかもしれないが、球にみなそうと思った形の中にも無視できないほどの凹凸があり、さらに小さい球を持て来なければよい近以にならないことが分かる。同じことがその小さい球についても、またさらに小さい球についても言える。つまり、特徴的な長さを持つ図形を使って近似しようとすればいつでも、実際の雲の形に比べ、無視できないくらい大きなずれが生じ、それを減らすために大きさの異なる図形を無数に用意しなければならないのである。

フラクタル構造は、以下の3つの性質をもつのが特徴である<sup>19)</sup>。

(1) 自己相似性 (Self-similarity)

全体の幾何学構造が、それ自身を縮小して構成した部分の和として表される。大きなスケールでも、小さなスケールでも同じような構造が見える性質を指す。

(2) 階層的な偏り

実次元空間の次元 (E) よりフラクタル構造Sの持つフラクタル次元 (D) が小さい場合、その構造 (S) は階層的に偏るという。この様に偏りの中にさらに偏りがある構造を階層的な偏りという。

(3) 簡単な数式 (べき乗型) 表現

基本式は以下の様なべき乗型の簡単な数式で表せる。

$$N=C \times a^{-D}$$

$a$ :あるパラメータ

$N$ :パラメーター $a$ に関連した個数

$D$ :フラクタル次元

$c$ :定数

この事は複雑な形も非常に簡単なプログラムで表現できることを示している。

複雑な図形の中に見られるフラクタル性をコッホ曲線と呼ばれる有名な図形（図－2.3.2）を用いて示す.

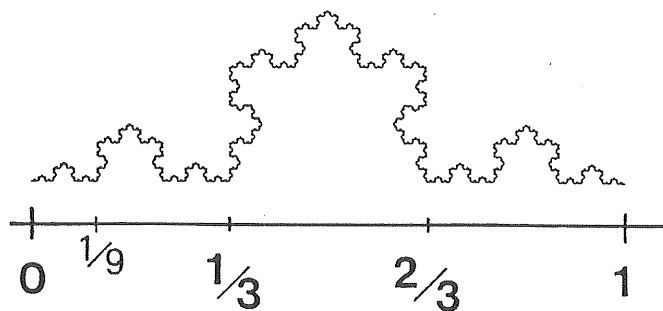
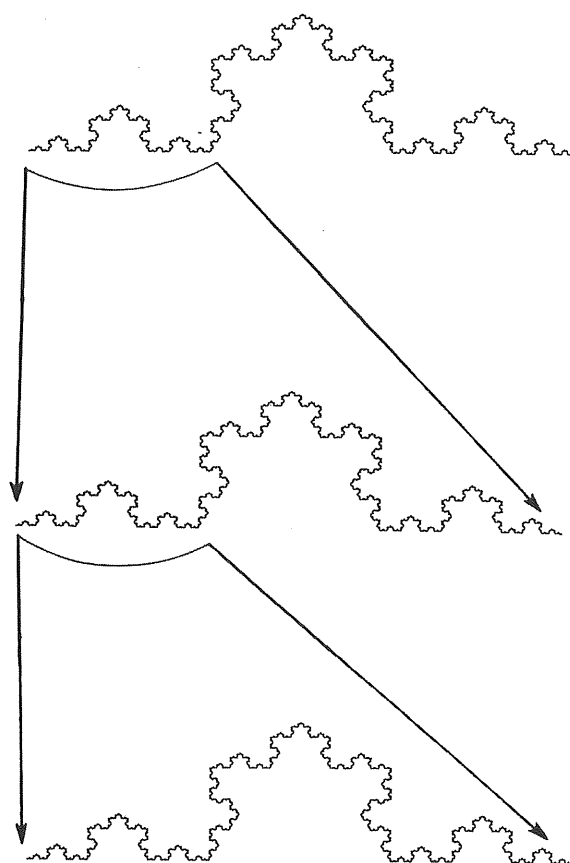


図-2.3.2 コッホ曲線<sup>20)</sup>



コッホ曲線の一部分を拡大する

図-2.3.3 一部を拡大すると同じ図形が出てくる<sup>21)</sup>

特徴的な長さを持たない図形の大切な性質は、自己相似性である．自己相似性とは考えている図形の一部を拡大してみると、全体と同じ様な形になっている．コッホ曲線の場合、図-2.3.3に示す全体を三分割し、その左端の区間  $[0, 1/3]$  における図形を3倍に拡大すると元の図形と全く同じ形になることが分かる．右端の区間  $[2/3, 1]$

における図形に対しても同様であり、傾いてはいるが途中の区間  $[1/3, 1/2]$  ,  $[1/2, 2/3]$  の図形に関しても言える．区間  $[0, 1/9]$  における図形を9倍してもやはり元と同じ図形が出てくる．さらに小さな部分についても同様である．いくら小さな部分でも、そこを適当な大きさに拡大すれば元と同じ図形が得られる．

積乱雲についても、雲の一部を望遠鏡などで拡大して観測しても、肉眼で見たのと同じ様な形に見えるはずである．さらに倍率を変えていっても、形は似たようなものになっている．雲の場合にはコッホ曲線のように部分と全体が全く相似形になっているわけではなく、同じ様な複雑さを持った形に見えるのであり、統計的な意味で自己相似になっているわけである．



### 2. 3. 2 フラクタル次元

次元とは、空間や構造の任意の点を指定するのに必要な独立な変数の数、つまり空間の自由度という意味で用いられることが多い。我々は、点は0次元、直線は1次元、平面は2次元、空間は3次元であることを知っている。このような次元はすべて整数値であり、自由度と一致する。しかし、100年ほど前にこの様な次元に対して問題が提起された。それが図-2.3.4に示すようなペアノ曲線である。

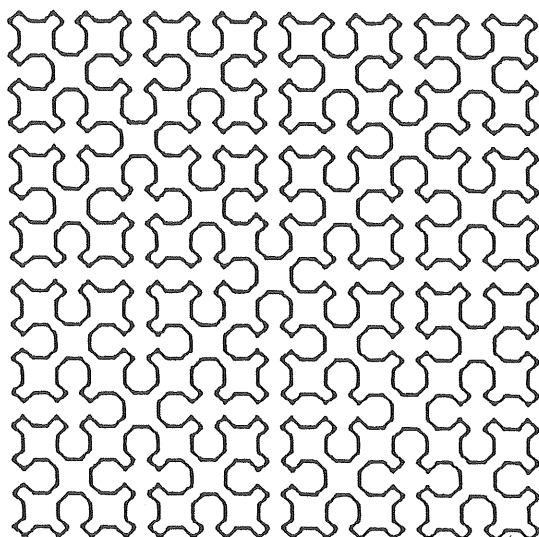


図-2.3.4 ペアノ曲線<sup>22)</sup>

ペアノ曲線は平面（二次元空間）を完全に覆い尽くすような1本の曲線である。2次元空間である正方形を埋め尽くしているが一筆書きできる曲線なので、図形上のどの点の位置も1変数で指定できる。一方、ペアノ曲線はその極限として得られる図形が平面を覆い尽くすことを考えると、面と同じ二次元となる。先ほどの次元の定義からいえば、ペアノ曲線は一次元であるが、このような矛盾をさけるため数多くの次元が定義されてきた。その中で一番わかりやすく、しかもフラクタルと親密な関係があるのが、相似性次元と呼ばれる量である。

線分、正方形、立方体の次元を相似性に基づいて考える。図-2.3.5に示すように各図形を2等分すると、線分は半分の長さの線分2個に、正方形の場合は1辺が元の $\frac{1}{2}$ の

正方形4個に，立方体の場合は1辺が元の立方体の  $\frac{1}{2}$  の立方体8個になる．

つまり， $\frac{1}{2}$  にした相似形2，4，8個によって全体が構成されるとみなすことができる．

この2，4，8は指数表示すると  $2^1$ ， $2^2$ ， $2^3$ と書き表すことができる．このときの指数が  
前述した各次元に一致する．

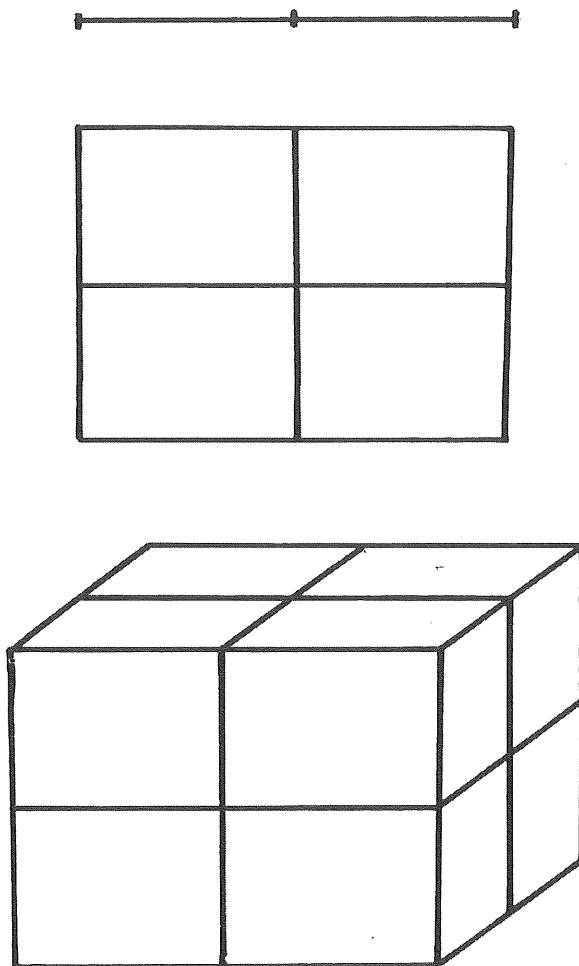


図-2.3.5 線分、正方形、立方体の単位長さを半分に分割する<sup>23)</sup>

一般的に言うと，ある図形を全体の  $1/a$  に縮小した相似図形  $a^D$  個によって構成されているとき，この指数  $D$  が次元の意味を持つわけである．この次元を相似性次元と呼ぶ．つまり，  
ペアノ曲線は全体を  $1/2$  に縮小した図形4個で構成されている． $4=2^2$ であるからペアノ曲線

の相似性次元は2となり、正方形の次元に一致する。

相似性次元  $D$  は、整数である必要性が全くないのである。ある図形が全体の  $\frac{1}{a}$  に縮小した相似図形  $b$  個で構成されているならば、

$$b = a^D \text{ より, 相似性次元は } D = \frac{\log b}{\log a}$$

となる。

コッホ曲線の場合全体を1/3にした相似図形4個によって構成されているため、相似性次元は、

$$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.2618 \dots \text{ という非整数の値になる}^{24)}.$$

コッホ曲線は、1次元というには複雑すぎ、かといってペアノ曲線のように2次元というには単純すぎるという見方をすれば1.26次元という値は的を得ているようにも思える。

この非整数値の次元がコッホ曲線の複雑さを定量的に表しているのである。

フラクタル図形は、一般に複雑な形をしているが、その複雑さが非整数の次元によって定量化される。異なる非整数の次元を持つフラクタル図形が2つある場合、次元の高い図形の方が一般的により複雑であることが分かる。

複雑な構造を解析するための手順を要約すると次のようになる。

- ① 与えられた構造の部分を拡大したものが、全体と同じように見えるかどうかを

確かめ、その構造がフラクタルかどうかを確認する。

- ② 差し渡しが何分の1のものが平均何個集まって全体を構成しているのかを調べ、

フラクタル次元を対数グラフを使って求める。

以上の二つを調べれば、ある構造の複雑さを特徴づけたことになる。

### 2. 3. 3 ボックスカウンティング法<sup>25), 26)</sup>

本論文で利用したフラクタル次元は容量次元と呼ばれるものであり、その測定法としては、主にディバイダー法やボックスカウンティング法が用いられる。本研究では、人工衛星データが正方形メッシュデータである点を利用することから、フラクタル次元の計算にはボックスカウンティング法を使用した。ボックスカウンティング法について以下に詳述する。

図形 $x$ が一辺 $d$ の正方形 $N(d)$ 個で覆われたとする。ここで定数 $k$ において、様々な大きさの一辺 $d$ に対し正方形の個数 $N(d)$ を測定したところ、 $N(d)$ と $d^{-k}$ の間に比例関係 $N(d) = \mu \times d^{-k}$  ( $\mu$ は正の定数)があるとき、両辺の常用対数をとれば、

$$\log N(d) = -k \times \log d + \log \mu$$

となり、 $\log N(d)$ と $\log d$ の関係は直線の式を意味している。

したがって、一辺の長さ $d$ とその正方形の個数 $N(d)$ を測定したとき、 $\log N(d)$ と $\log d$ の間に傾き $-k$ の直線関係があれば、 $k$ をフラクタル次元（容量次元）とする。

図-2.3.6に示すような線形のフラクタル次元を求めてみる。

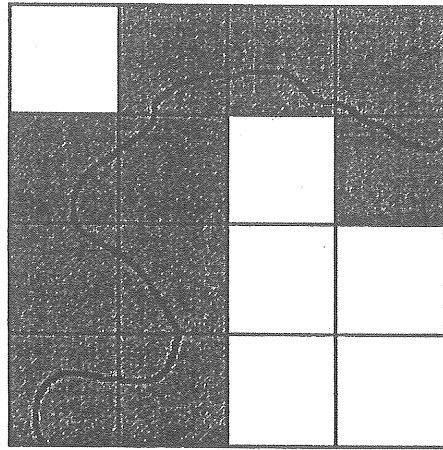


図-2.3.6 ボックスカウンティングの例

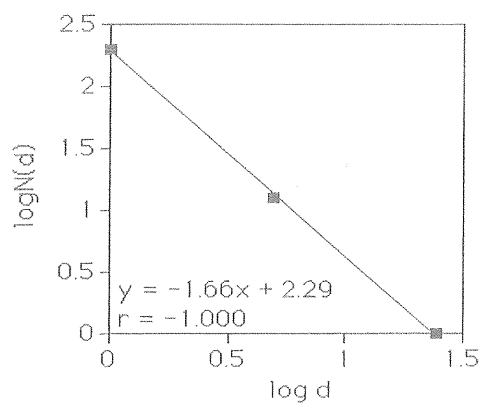


図-2.3.7  $\log d - \log N(d)$  関係

ボックスの一边が 1（画素）のとき線形は 10 個のボックスで覆われている．同様に一边が 2（画素）のときは 3 個，一边が 4（画素）のときは 1 個である．ボックスの一边  $d$  とそのときのボックスの個数  $N(d)$  の自然対数を取り，プロットしたものが図-2.3.7 である．

直線的な配置であるため，この線形はフラクタル性を有しているということになる．そのフラクタル次元は直線の傾きから求める．傾き及び切片は、最小二乗法<sup>27)</sup>により求める．求める一次関数が  $y = ax + b$  であるならば，

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{n \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{n \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

である．

これより，傾きは  $-1.66$  であり，フラクタル次元は  $1.66$  となる．また，相関係数<sup>28)</sup>は

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

である．ただし，

$$S_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N}$$

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N}$$

で求められる．相関係数  $(r)$  が  $-1$  に近いほど，フラクタル構造を有することを示している．

## 2. 4 空間周波数解析と $1/f$ ゆらぎ

音に関して、「高い」「低い」という言葉がある．この場合，高低の差が生じるのは周波数の違いによる．高い音は振動の周波数が高く，低い音は周波数が低いことを意味する．音の高低を信号で見ると図-2.4.1（上）に示すように信号が変化する回数あるいは周期の大小に対応する．画像の濃淡変化も音声の波形と同様に図-2.4.1（下）に示すような波形であらわすことができる．縦軸は濃淡（明るさ）を数字であらわしたもので，黒のときに値が最小で値が大きいほど白に近くなる．ここに示すように画像では横軸が空間的距離となるため，画像を対象とするときの周波数を空間周波数と呼ぶ．

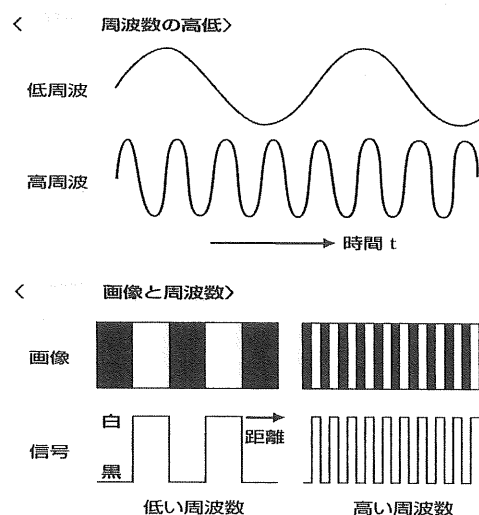


図-2.4.1 音と画像の周波数<sup>29)</sup>

青空のように全体が同じ明るさで同じ色の画像もあれば，チェス盤のように白と黒とで明るさ，色とも全く異なるもので構成されているものがある．この違いをあらわす指標として空間周波数が利用される．青空の画像はこの指標であらわすと空間周波数が低い画像といえる．全体の階調値（明るさ）が似た感じなので変化が少なく，電気信号でいえば変化が少ないということは周波数が低いということと同じわけとなる．逆に黒と白からなるチェス盤は空間周波数が高い画像といえる．これは階調値が急激に変化しているので，電気信号でいえば，周波数が高い状態と同じといえる．このように空間周波数とは，単位距離あたりの輝度変化を，複数の波長の波に分解したそれぞれの波の周波数を意味し，空間周波数特性とは，濃淡に対する感度に相当する．

このように画像の場合も濃淡変化の回数から周波数で考えられることがわかる．画像は濃淡が二次元的に変化するので，「どのような周波数の成分がどのくらい含まれているか」によって表現することができる．

自然界の振動現象を考察する場合に，その振動を基本振動の重ね合わせとして表現するが，これを数学的に述べたものがフーリエ解析である．基本振動はその周波数

(frequency) がその基本振動の特性を表し、そのフーリエ係数がその周波数成分の大きさを与えている。信号波形のある周波数成分に対応した信号の強さ、すなわちフーリエ係数の絶対値の 2 乗をパワー・スペクトルと呼ぶ。ゆらぎの動的な性質を統計的に表現するのに最も普通に用いられる。

画像を水平方向あるいは垂直方向に一定間隔で分割した場合、その分割線に沿った画像の濃淡を、いろいろな空間周波数を持った成分に分解すると、空間周波数に関するパワー・スペクトルが得られる。これをたくさんの水平線、あるいは垂直線について求め、平均すると、その画像のパワー・スペクトルが得られる。これを両対数グラフを用いて、空間周波数 ( $f$ ) を横軸に、パワー・スペクトルの値を縦軸にとると、右下がりのグラフになる。この関係が示す傾きが“ゆらぎ指数”であり、たとえば、その勾配が-1 であればスペクトルは周波数 ( $f$ ) に逆比例し、もしその勾配が-2 であればスペクトルは周波数 ( $f$ ) の二乗に逆比例するということになる。

本研究では、周波数解析を行って得られる“ゆらぎ指数”を整理・比較することで、景観固有の特徴を評価することを試みたものである。

本節ではまず、画像の濃淡をいろいろな空間周波数を持った成分に分解するスペクトル解析とはどのようなものなのか、また、それから得られる“ $1/f$  ゆらぎ”というものがどのような意味を持つのか以下に述べる。

## 2. 4. 1 空間周波数解析とは

時間の世界（時間領域）から周波数の世界（周波数領域）に移行するための手段として、フーリエ変換が用いられる。フーリエ変換というのは、複雑な曲線を正弦波と余弦波の曲線の集合として表現することによって、曲線を周波数ごとのスペクトルに分解することである。本研究では、高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）を用いて解析を行った。高速フーリエ変換で最も重要なことは、データの長さが 2 のべき乗となることである。つまり、データの全長が、例えば 128, 256, 512 というような数であることが要求される。その中間の数場合にはその直前の数を超える部分のデータを切り落とすか、データの全長にさらに 0 などの数字を加えて 2 のべき乗にデータ数をそろえてから解析が行われる。実際に解析の対象となるデータは、ある限られた長さしかもっていない。しかし、その長さ  $T$  を基本周期と考えて、図-2.4.1 のよう周期関数とみなすことによってフーリエ級数の手法が利用できることになる。すなわち以下のように示すことができる。

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-j \frac{2\pi nk}{N}}$$

信号  $x_n$  は  $x(t)$  を時間  $t$  の代わりに時間間隔  $\Delta t$  でデジタル化したものである。時間  $t$  は連続的であるので、これによって表現される周波数はゼロから無限大まで存在する。デジタルデータでは、最小時間間隔が決まっているので周波数にも自ずから限界が生ずる。つまり、 $N$  個のサンプルからなる信号系列  $X_n (n=0,1,2,\dots,N-1)$  に対するフーリエ変換の  $X_k$  では、周波数を表す  $k$  の値も 0 から  $N-1$  までの  $N$  個あることになる。但し、正の周波数として用いられるのはこの半分の  $N/2$  個のみである。ところで、波というのはどのように複雑な波であっても、単純な波を足し合わせたものと考えることができる。これが離散フーリエ展開である。式(2.4.1)にフーリエ級数の式を示す。

$$\begin{aligned} f(t) = & a_0 + a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t \\ & + a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t \\ & + a_3 \cos 3\omega t + b_3 \sin 3\omega t \\ & + \dots + \dots \\ & + \dots + \dots \end{aligned} \quad \text{式(2.4.1)}$$



例えば、式(2.4.1)の1行目の $a_0$ 以外の「 $a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t$ 」についてみていく。これは1周期の中で1回上下する余弦波と正弦波について表している。ここで $\omega$ は角周波数で、 $2\pi/T = \omega$ の関係からこのような式になっている。 $a_1, b_1$ はそれぞれについての振幅である。

このようにフーリエ展開することにより周波数ごとの振幅が分かる。しかし、ここに示すように、余弦波についての $a_n$ 、正弦波について $b_n$ とすると、波から1周期を選ぶと

きの分け方で値が変わってしまう。そこで1周期ごとに振幅の情報を、 $d = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$

と解釈する。これを使うと分け方の影響を受けず一定となる。この考え方を導入したのがFFTつまり高速フーリエ変換である。FFTは前述したように、振幅に関する情報を簡略化することによって、より単純に、より早く計算ができるのである。

以上のことによって、複雑な波は単純な波の足し合わせであり、FFTを用いると比較的容易に各周波数の振幅を得られることが分かった。

ここまでの作業を1列目、2列目・・・と全ての列（水平なら512列、鉛直なら1024列）について行い、それぞれの周期についての振幅を平均する。これを両対数グラフで、空間周波数 $f$ を横軸に、振幅の二乗、つまりパワー・スペクトルの値を縦軸にとると、右下がりのグラフになり、この傾きが“ゆらぎ指数”である。このように、あるデータからスペクトルを求めることをスペクトル解析という<sup>30)</sup>。

なお、本論文では、解析画像をデジタル変換し、そのデータを基に空間周波数（スペクトル）を求める解析プログラムは、長崎大学海洋生産科学研究科海洋生産開発学専攻 今村幸祐氏（現 金沢大学助手）の協力のもとに作成した。

## 2. 4. 2 空間周波数の解析方法

画像を水平方向あるいは垂直方向に一定間隔で分割した場合，その分割線に沿った画像の輝度（濃淡）を，色々な周波数を持った成分に分解すると，空間周波数に関するパワー・スペクトルが得られる．これを画像全体の水平線，垂直線について求め，平均すると，その画像のパワー・スペクトルが得られる．両対数グラフを用いて，空間周波数（ $f$ ）を横軸に，パワー・スペクトルの値を縦軸にとると，右下がりのグラフになる．この関係が示す傾きが“ゆらぎ指数”である．たとえば，その勾配が-1であればスペクトルは周波数（ $f$ ）に逆比例し，もしその勾配が-2であればスペクトルは周波数（ $f$ ）の二乗に逆比例するということになる．

### 【具体的な作業】

まず撮影した写真はフィルムスキャナーを使用してデジタル画像データに変換する．その画像データを用いた解析手順は以下のとおりである．

- ①撮影画像を BMP 形式で保存し，画像をフルカラーと R（赤）・G（緑）・B（青）各色のグレースケールの画像に保存する．
- ②256×512 や 1024×512 画素のグレースケールとして PGM 形式のデータを作成する．
- ③高速フーリエ解析（FFT）を用いて，この画像データの鉛直方向と水平方向に関する周波数とパワースペクトル（スペクトル密度）を求める．
- ④結果は対数目盛で縦軸にパワースペクトル，横軸に周波数をプロットする．
- ⑤周波数とパワースペクトル密度の関係から，パワースペクトル主成分の傾き（ゆらぎ指数）を求める．

例えば，図-2.4.2 の場合，水平方向の 1 列につき 1024 ピクセルのデータ，鉛直方向に 512 ピクセルのデータがあるとする．それぞれ各行，各列のデータについて高速フーリエ解析（FFT）を繰り返す．

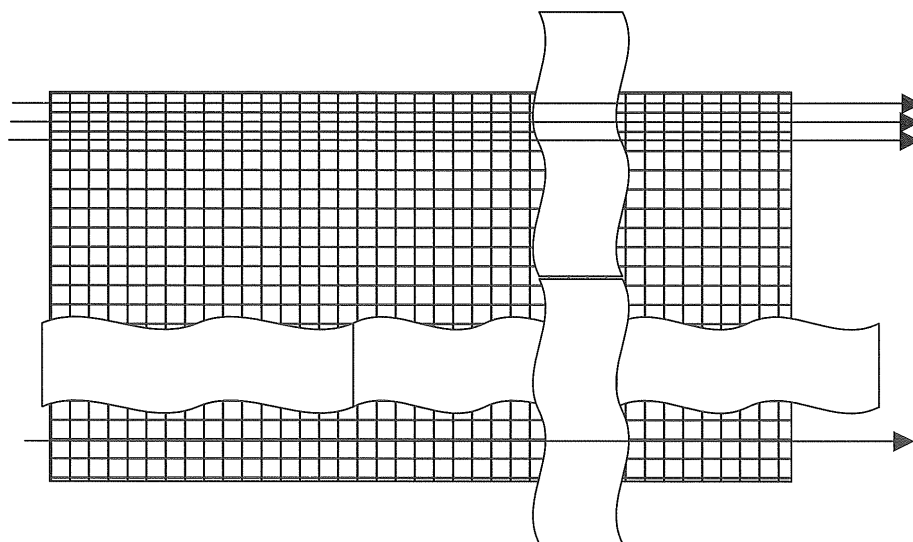


図-2.4.2 ピクセルに分割された画像の解析の方向

### 2. 4. 3 $1/f$ ゆらぎ<sup>31)</sup>

$1/f$  ゆらぎとは前節で述べた，スペクトル解析を行って得られる周波数とパワー・スペクトルの関係から求められる傾きの一つである．周波数とパワースペクトルの関係からゆらぎの種類について示したものが図-2.4.3である．

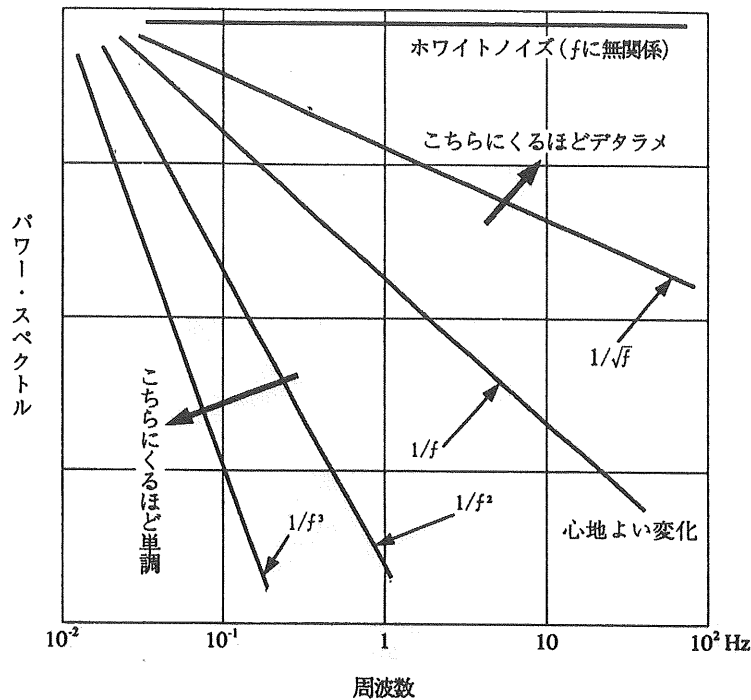


図-2.4.3 ゆらぎの種類<sup>32)</sup>

図に示す様に，周波数解析から求められるゆらぎの種類は，周波数の逆数 ( $1/f^x$ ) の乗数 ( $x$ ) により分類される．

つまり，

$x < 1$ であれば 周波数と無関係になり，『白色ゆらぎ』と呼ばれる．

この場合には，全ての周波数成分を一様に含んでいるのでスペクトルは一定の値を取る．

$x = 1$ であれば 周波数の大きさとパワーとの間に，逆比例の関係が見られるゆらぎである．これが人間にとって心地よさを与える『 $f$ 分の1 ゆらぎ』といわれる．

例えば，心地よい音楽であったり，人間の心拍周期も  $1/f$  ゆらぎであり，人間に心地よい変化なのである．

$x > 1$ であれば 『単調なゆらぎ』と呼ばれる．

本研究では，この乗数値をゆらぎ指数とし，その値の変化に着目した．

## 第2章の参考文献

- 1) 高安秀樹 (1986) : フラクタル, 朝倉書店, pp. 1~36
- 2) 大野博之 (1997) : 地球科学分野へのフラクタルの応用, 応用地質, 第 38 巻, 第 3 号, pp. 159~173
- 3) 高安秀樹・高安美佐子 (1993) : フラクタルって何だろう, ダイヤモンド社, pp. 14~26
- 4) 武者利光 (1995) : ゆらぎの発想, NHK 出版, 巻頭写真
- 5) 大野博之 (1997) : 河川構成要素の自然度評価の試み, 応用地質年報, No. 8, pp. 39~63
- 6) 久保田哲也 (1994) : 地すべり Fractal 特性の危険度調査指標への適用について, 地すべり, 第 31 巻, 第 3 号, pp. 9~15
- 7) 佐々木靖人・阿部昌彦・平野勇 (1991) : 斜面崩壊の規模と発生数に関するフラクタル, 応用地質, Vol. 32, No. 3, pp. 100~109
- 8) 大野博之・小島圭二 (1988) : 岩盤中の割れ目系に見られるフラクタル, 応用地質, Vol. 29, No. 4, pp. 11~18
- 9) 大野博之・小島圭二 (1992) : 岩盤割れ目のフラクタル (その 1), 応用地質, Vol. 33, No. 3, pp. 133~136
- 10) 大野博之・小島圭二 (1993) : 岩盤割れ目のフラクタル (その 2), 応用地質, Vol. 34, No. 2, pp. 58~72
- 11) 佐藤邦明・市川正憲 (1988) : 岩盤フラクチャーのフラクタル次元と水理特性の相関, 土と基礎, Vol. 35, No. 12, pp. 13~18
- 12) 平田隆幸 (1988) : 断層とフラクタル, 物理探査, Vol. 41, No. 6, pp. 401~408
- 13) 脇田英治・松尾稔 (1995) : 不同沈下のフラクタル的特性とそれを応用した沈下推定, 土木学会論文集, No. 529, III-33, pp. 69~81
- 14) 久保田哲也 (1996) : 溪流及び流路工における水面パターンの視覚的效果に関する研究, 砂防学会誌査, Vol. 49, No. 4, pp. 9~14
- 15) 小栗ひとみ・寺川陽 (1999) :  $1/f$  ゆらぎ理論を適用した歩行者空間の整備, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 41, No. 3, pp. 26~31
- 16) マンフレッド・シュレーダー (竹迫一雄訳) (1997) : フラクタル・カオス・パワー則, 森北出版, pp. 140~250
- 17) 前出 3) の pp. 28~61
- 18) 前出 3) の p. 79
- 19) 大野博之 (1997) : 地球科学分野へのフラクタルの応用, 応用地質, 第 38 巻, 第 3 号, pp. 159~173
- 20) 前出 3) の p. 29
- 21) 前出 3) の p. 31

- 22) 前出 3) の p. 39
- 23) 前出 3) の p. 43
- 24) 前出 3) の pp. 28～61
- 25) 石村貞夫・石村園子 (1994) : フラクタル数学, 東京図書, pp. 100～148
- 26) 芹沢弘 (1995) : 3 次元フラクタル紀行, 森北出版, pp. 102～105
- 27) 全国高専土木工学会編 (1985) : 新編土木工学講座 改訂測量 (1), コロナ社, pp. 20～42
- 28) 池守昌幸 (1985) : 土木計画のための確率・統計序説, 森北出版, pp. 79～85
- 29) 越智宏・黒田英夫 (1999) : 図解でわかる画像圧縮技術 1, 日本実業出版社, pp. 62～63
- 30) 大崎順彦 (1987) : 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, pp. 43～137
- 31) 武者利光 (1995) : ゆらぎの発想, NHK出版, pp. 12～39
- 32) 前出 32) の p. 29
- 33) 高安秀樹・本田勝也・佐野雅巳・田崎晴明・村山和郎・伊藤敬祐 (1989) : フラクタル科学, 朝倉書店, 251p.
- 34) 徳永隆治 (1993) : フラクタル, ジャストシステム, 129p.
- 35) タマス・ダビッチ (宮島佐介訳) (1990) : フラクタル成長現象, 朝倉書店, 286p.
- 36) 三井秀樹 (1993) : フラクタル科学入門, 日本実業出版社, 182p.
- 37) ベンワー・マンデルブロ (広中平祐監訳) (1996) : フラクタル幾何学, 日経サイエンス, 467p.

## 第3章 フラクタル次元を用いた地形環境の評価

### 3. 1 人工衛星リモートセンシングの概説<sup>1)</sup>

リモートセンシング (remote sensing) とは、離れたところから直接触らずに対象物を計測し、またその性質を分析する技術である。対象物からの情報収集には、対象物からの反射 (reflection) または放射 (radiation) される電磁波が主に用いられる。

対象物から反射・放射される電磁波を受ける装置をリモートセンサーまたはセンサーと呼び、カメラやスキャナなどがこれにあたる。これらのセンサーを搭載した移動体をプラットフォーム (platform) と呼び、人工衛星や航空機などが使われる。

つまり、リモートセンシングは、「人工衛星や航空機などにセンサーを搭載し、物体からの反射・放射される電磁波の固有性に着目し、電磁波を観測して、物体の識別やそれがおかれている環境条件を把握する技術」である。図-3.1.1 は、リモートセンシングによるデータ収集の概念を示したものである。

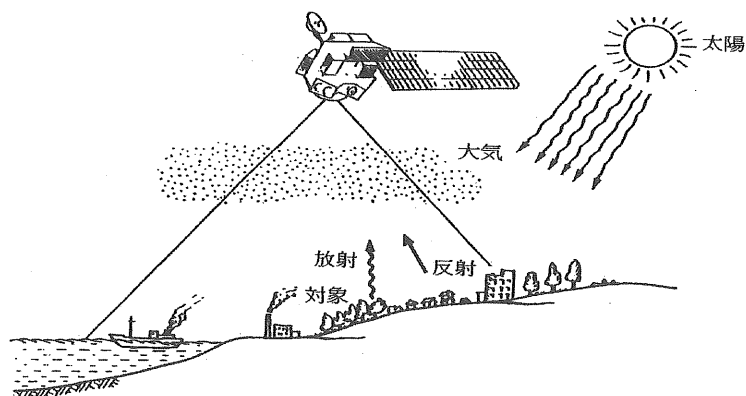


図-3.1.1 リモートセンシングによるデータ収集概要<sup>2)</sup>

リモートセンシングの応用分野は、屋内での工業計測から広域的な陸域・大気・海洋情報の収集、地球規模の環境変動の監視まできわめて多岐にわたる。都市、地域スケールでは土地開発の推進や緑地・植生の変化監視などに利用されている。また、森林減少など地球スケールの自然環境を把握するのに不可欠な手段となっている。海洋では、海面水位、汚濁状況、植物性プランクトンの分布状況、海面温度など様々な情報が収集できる。また、リモートセンシングから得られる波の情報から海上風の風向・風速を推定することもできる。大気については、二酸化炭素やオゾンなど微量成分の組成の調査や、雲画像などから気象現象の解析などにも利用できる。地球環境時代を迎え、リモートセンシングの重要性はますます大きくなっている。

この様にリモートセンシングは、対象物に触れずに対象物から放射・反射される電磁波を捉え、その対象物がどのような種類で、どのような環境条件の下にあるかを知ることができる。

リモートセンシングには次のような利点がある．

- 1．同時に広範囲を同精度の調査ができる．
- 2．労力，経費，時間が少なく済む．
- 3．人間が入り込めないような森林や山岳地帯の調査に効果的である．
- 4．反復観測が容易なため，地表の変化を発見しやすい．
- 5．人間の目には見えないことも調査したり予測したりすることができる．
- 6．データが数値であるため，半永久的に保つことができる．

地盤工学の分野の利用例としては土地利用調査，土地被覆分類，地下水の探査，自然災害，斜面崩壊の調査・予測などが一般的に挙げられる．

本研究では，このような人工衛星リモートセンシングデータの利点とデータが正方形メッシュで有る点に着目し，人工衛星データを利用したフラクタル解析を実施し，地形改変や対策工の効果評価などのモニタリング手法への適用性について研究した．

### 3. 2 人工衛星データを用いたフラクタル解析

内陸部の地形と同様に河川や海岸も、長期間・短期間に関わらず人工的な改変を受けてきた。1990年代に入ってから地球共生時代の土木工学が求められ、自然・環境保全を念頭にした開発が徐々に取り上げられ、近自然型や多自然型の設計手法を取り入れた河川改修もその一つである。本研究では、人工衛星データを用いたリモートセンシング技術を応用して、海岸線や河川形状についてフラクタル解析を行い、地形環境の変化の把握を、容易かつ迅速に評価する手法の適用を目的として行った。

そもそもフラクタルは、自己相似性をもつ図形の総称として扱われ、自然界の中にはフラクタルがたくさん存在している。建設工学に関係する自然界の対象を考えると、地形形状が想起される。これまで地形形状のフラクタル次元を求める場合は、紙情報である地形図から、河川や海岸線のフラクタル次元を測定することが行われていた。しかしこの方法では、情報が古く激しい変化に対応できないことや、トレースに伴う誤差が生じることや、効率的でないことが挙げられる。

本章では、フラクタル次元を求めるボックスカウンティング法を行う場合、従来の手作業でやる方法と、人工衛星データを用いた方法が、共に同じ結果となることを示すために、河川や海岸を解析対象として取り上げ、フラクタル次元解析を行った。すなわち、人工衛星データを用いてフラクタル次元解析の適用性を考察する点から、大きいスケールでも小さいスケールでも判別がしやすい河川や海岸の様な規模を対象することが有利と判断した。また、現時点で実用的な人工衛星データの解像度は20~30mであり、地形形状を認識するには、河川や海岸線が相応しいと考えた。

対象としては、国内と海外の河川・海岸線を取り上げた。

その理由として、

日本の河川は、

急斜面で流れが速い→河川勾配がきつい→直線的→フラクタル次元が小さい。

海外の河川は、

緩やかで流速が遅く→河川勾配が緩やか→蛇行し易く→フラクタル次元が大きい、  
という着目点を検証する目的からである。

海岸線を形態から区別すると、

海岸線の出入りの激しく屈曲した海岸と直線的な平滑な海岸線に分けられる。フラクタル次元による形態の違いを検証するために、様々な形態をもつ北部九州の海岸線を取り上げた。



### 3. 2. 1 解析方法

本研究では，世界と九州北部に見られる代表的な河川線形と海岸線形についてフラクタル次元を求めた．解析に用いたデータの種類は，

- ① 人工衛星データ
- ② 人工衛星画像集のデータ
- ③ 地形図から読みとった地図情報データ

の3種類である．なお，河川線形のフラクタル次元は，河川幅をどの様に評価するかによって数値に影響があるため，左岸・右岸，河川全体とに区分し3つの次元を求めた．左岸，右岸及び全体の捉え方を図-3.2.1に示す．河川の支流は含まず，本流のみを河川線形の対象とした．図-3.2.1に示すように，河川下流に向かって左側が左岸，右側が右岸とした．また，全体とは川幅を含めた河川全体を指す．海岸線形については，近隣の島の海岸線形は含まず，連続した曲線で表している．

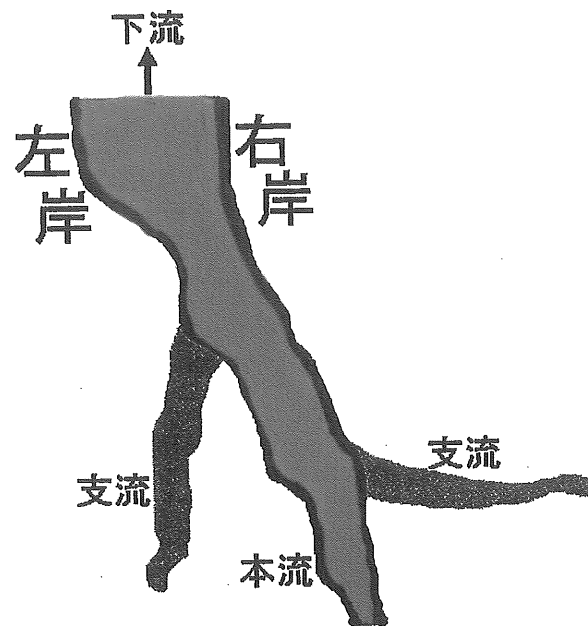


図-3.2.1 左岸，右岸及び全体の捉え方

### 3. 2. 2 人工衛星データと地図情報データ

解析に用いた各データの取り扱いについて以下に述べる.

#### (1) 人工衛星データ

人工衛星データは正方形メッシュデータである. フラクタル次元を求めるボックスカウンティングを行う際に, いちいち対象物 (又は対象地) を正方形で細分する必要がなく, かつ極めて容易にその個数をコンピュータで計算できる利点がある. デジタルデータとして供給されるため, 直接コンピュータによる作業を行うことができる. このため, 人工衛星データの解析にボックスカウンティング法に適用することで, フラクタル次元の測定を容易かつ迅速行うことができると考えられる.

本研究では, 人工衛星リモートセンシングデータとして, LANDSAT/MSS, LANDSAT/TM, SPOT/HRV データの 3 種類の人工衛星データを用いた. これらの人工衛星データは, 搭載されているセンサーが異なり, 地上の見える大きさ (地上分解能, データ上では画素という) が, それぞれ, LANDSAT/MSS が 80m 四方, LANDSAT/TM が 30m 四方および SPOT/HRV が 20m 四方 (SPOT/HRV については 10m 四方の画素データもあるが, ここでは 20m 四方を用いた.) と異なっている.

人工衛星データからフラクタル次元を求めるには, 第 2 章 2.3.3 で述べた様に, 以下の手順で行う.

- ① 2 画素×2 画素, 3 画素×3 画素と, ボックスの大きさを正方形の一边  $d$  (m) のデータが読める範囲まで逐次変えていき, そのとき図形  $X$  がそれぞれ画素  $N(d)$  個で覆われたとする.
- ② ある定数  $k$  において, 様々な正方形の一边  $d$  (m) に対し, 画素の個数  $N(d)$  を測定したとき,  $\log N(d)$  と  $\log d$  の間に傾き  $-k$  の直線関係があれば,  $N(d) = \mu d^{-k}$  ( $\mu$  は正の定数) で表され, ここに  $k$  をフラクタル次元とする.
- ③ この両辺の常用対数をとれば,  $\log N(d) = -k \log d + \log \mu$  となり,  $\log N(d)$  と  $\log d$  の関係は直線式となることを意味している.

人工衛星データからフラクタル次元の測定を行う作業手順は, 以下のとおりである.

1. 磁気テープからコンピュータへデータ入力を行う.
2. ERDAS/IMAGINE と呼ばれるリモートセンシング用解析システムを使用し, IMG ファイルに変換する.
3. AOI ファイルを作成し, 解析部分を抽出しファイルを保存する.
4. 表示させた画像ファイル及び AOI ファイルから画像の切り出しを行う.
5. 次に統計量の再計算を行う. 必要であれば全ての Layer に対して再計算させる.
6. 再計算させた画像を表示し, 表示してある画素数を数える.

7. 1 画素×1 画素の画像を元に、2 画素×2 画素、3 画素×3 画素と逐次画素数を変えた画像を作成する。
8. 同様に 2 画素×2 画素の画像、3 画素×3 画素の画像で上記の作業を繰り返す。
9. ボックスの一边  $d$  (画素) と対象が覆われた画素数 (個) の常用対数を取り、グラフにプロットする。
10. 直線的な配置であれば、その対象はフラクタル性を有し、その傾きを求める。

## (2) 人工衛星画像集データ

人工衛星画像集データによるフラクタル次元は、LANDSAT 画像集を用いて測定する。人工衛星画像データはアナログデータであるために、コンピュータによる解析を行うには、デジタル化が必要である。人工衛星画像集データの解析作業の手順を以下に記す。

1. 対象河川の人工衛星画像データをスキャナーにより読み込み、デジタル化する。
2. Photoshop を使用し、対象の形状を抽出する。
3. 2 値化し、形状として必要な部分は黒、不必要な部分は白にする。
4. Fractal-Dimension-Calculator によりボックスカウンティングを行う。計算に際しては任意のボックスの大きさを指定し、そのときに被覆する個数を測定する。
5. ボックスの大きさとそのボックスで被覆した個数の関係を常用対数として両対数グラフとして図化する。
6. プロットされたデータが直線的な配置であれば、その対象はフラクタル性を有し、そのときの傾きを求める。

## (3) 地図情報データ

地図情報データは人工衛星画像データ同様、アナログデータであるために、コンピュータによる解析を行うには、データのデジタル化が必要である。作業の手順を以下に記す。

1. 縮尺 1/25,000 の地形図を用い、対象の形状をトレースする。
2. トレースした形状をスキャナーにより読み込み、デジタル化する。
3. 2 値化し、形状として必要な部分は黒、不必要な部分は白にする。
4. Fractal-Dimension-Calculator によりボックスカウンティングを行う。任意のボックスの大きさを指定し、そのときに被覆する個数を測定する。
5. ボックスの大きさ、被覆した個数の常用対数を取り、グラフにプロットする。
6. 直線的な配置であれば、その対象はフラクタル性を有し、そのときの傾きを求める。

### 3. 3 河川線形のフラクタル性評価

#### 3. 3. 1 世界の河川

世界の大河が有するフラクタル次元は，LANDSAT 衛星画像集<sup>3), 4), 5)</sup>に掲載されている人工衛星データを利用して求めた．対象河川は表-3. 3. 1 に示す 12 河川であり，解析は河川本流のみとした．

表-3. 3. 1 解析した世界の大河

河川名	国名・地名
アマゾン	ブラジル・マナウス
イルシチ	ロシア・ハンチマンシークス
ユーフラテス	トルコ・ケバン
セーヌ	フランス・パリ
スモーキー	カナダ・アルバータ州
モスクワ	ロシア・モスクワ
タポホヌ	ブラジル・イタイトバ
ウスリー	ロシア・ビギン
ソンカー	ベトナム・ビン
スワン	オーストラリア・パース
マレー	オーストラリア・ミルズーラ
メコン	カンボジア・プノンペン

解析例として，画像-3. 3. 1 にブラジル マナウス付近を流れるアマゾン川を，画像-3. 3. 2 に西シベリアを流れるイルシチ川を掲載する．これらの画像からその河川の形状部分を周囲との判別から抜き出したものをそれぞれ図-3. 3. 1 と図-3. 3. 2 に示す．

この様にして求めた河川形状についてフラクタル次元解析を実施した結果を図-3. 3. 3 (a) ～ (c) と図 3. 3. 4 (a) ～ (c) に示す．それぞれ右岸・左岸と河川全体を対象とした結果である．

単純そうな河岸線に見えるアマゾン川のフラクタル次元は，

左岸  $d=0.98 \cdots \cdots$  図 3. 3. 3 (a)

右岸  $d=0.99 \cdots \cdots$  図 3. 3. 3 (b)

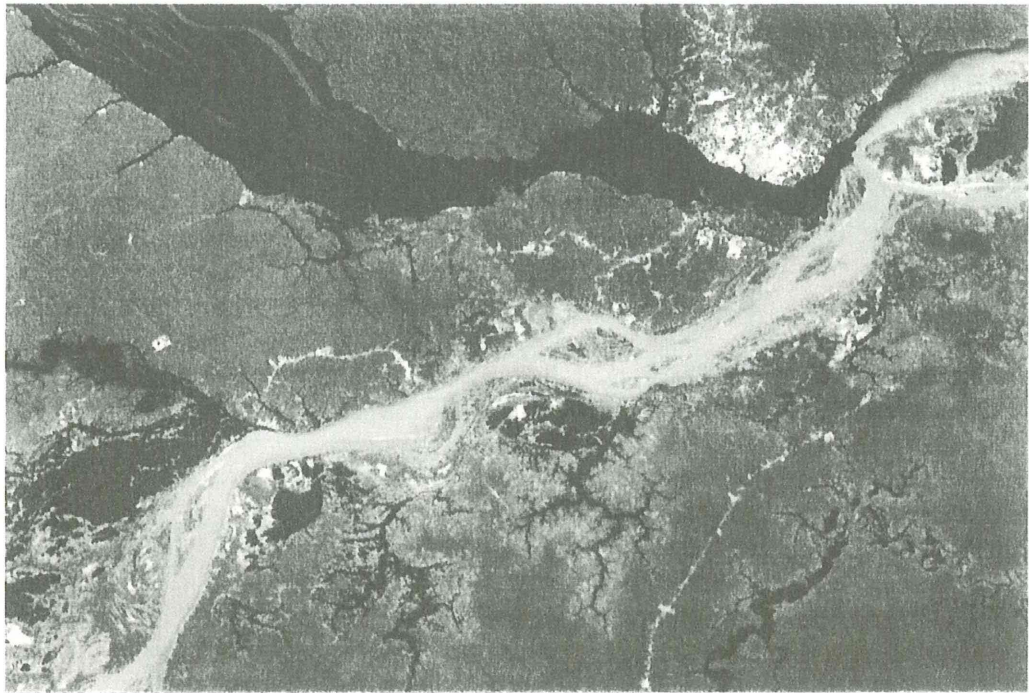
見た目複雑そうなイルシチ川のフラクタル次元は，

左岸  $d=1.16 \cdots \cdots$  図 3. 3. 4 (a)

右岸  $d=1.18 \cdots \cdots$  図 3. 3. 4 (b)

となる．

感覚的にも複雑に見えるイルシチ川が高いフラクタル次元を示したが，両河川ともに，フラクタル次元は  $d=1$  に近い値が得られた．理論上，直線のフラクタル次元は  $d=1$  であり，また平面全体のフラクタル次元は  $d=2$  となる．従って，平面を埋める様な曲線のフラクタル次元は  $d=1 \sim 2$  の間にあると考えられる．つまり，アマゾン川の両河岸



画像-3. 3. 1 ブラジルマナウス付近を流れるアマゾン川の画像<sup>3)</sup>

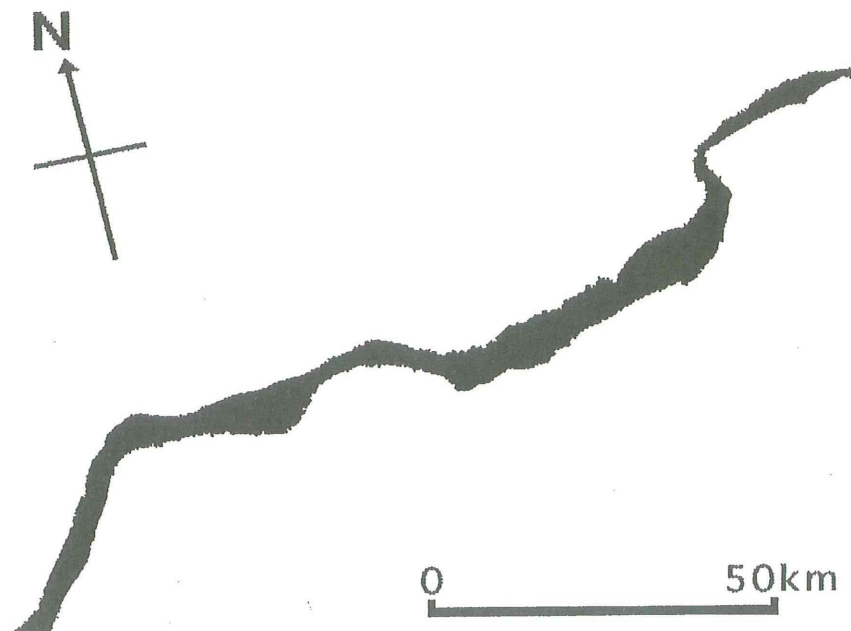
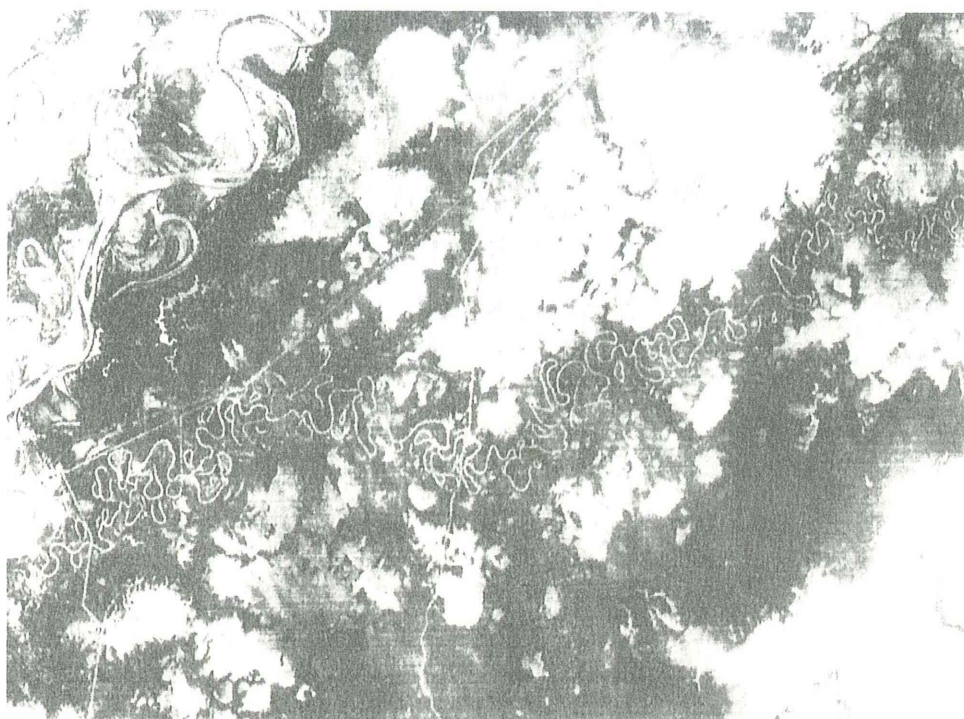


図-3. 3. 1 アマゾン川の形状



画像-3.3.2 西シベリアを流れるイルシチ川の画像<sup>5)</sup>

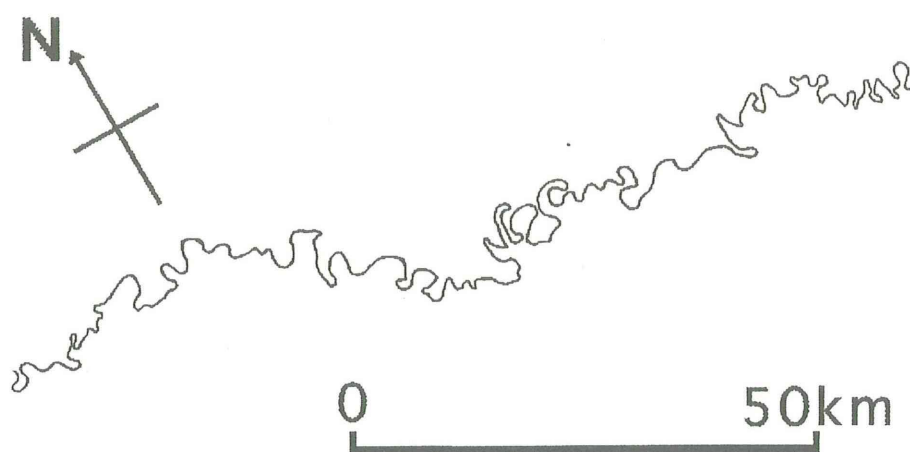
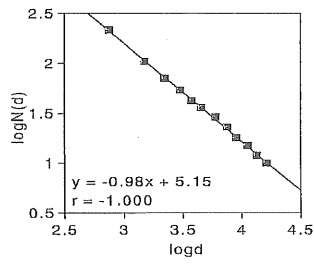
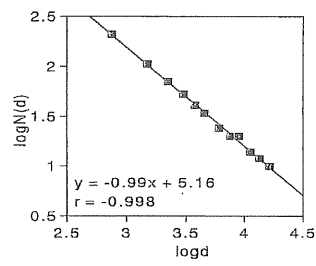


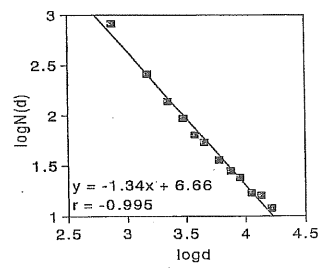
図-3.3.2 イルチシ川の形状



(a) 左岸

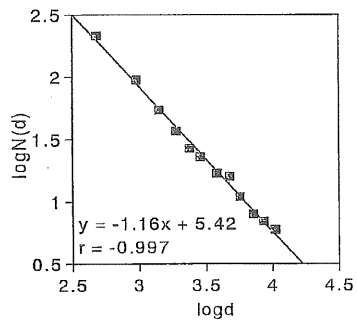


(b) 右岸

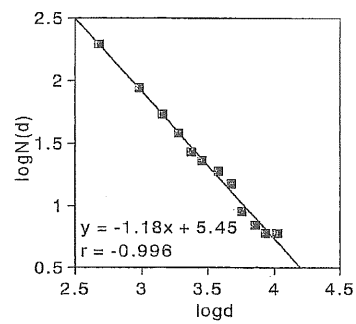


(c) 全体

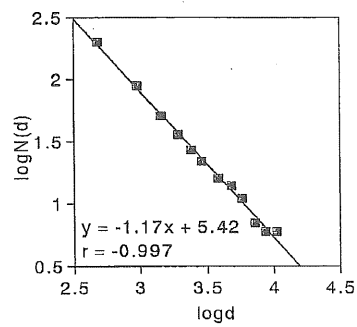
図-3.3.3 アマゾン川のフラクタル次元解析結果 ( $\log d \sim \log N(d)$ )



(a) 左岸



(b) 右岸



(c) 全体

図-3.3.4 イルシチ川のフラクタル次元解析結果 ( $\log d \sim \log N(d)$ )

は直線のような単純な形状であり、極めて  $d=1$  に近い次元を示す。一方、イルシチ川のように平面内を左右に蛇行する河川のフラクタル次元は  $d=1.16$  と  $d=1.18$  であり、直線より複雑であるが、まだ平面全体を埋めるほど複雑に蛇行しているわけではない。

次に河川幅を含めた河川全体のフラクタル次元を見ると、アマゾン川が  $d=1.34$ （図 3.3.3 (c)）であり、イルシチ川が  $d=1.17$ （図 3.3.4 (c)）となった。アマゾン川のフラクタル次元は、河川左・右岸で得たそれぞれの次元と大きく異なる。逆にイルシチ川は、河岸線のフラクタル次元に非常に似た値となった。これはアマゾン川の河川幅が広く、全体を覆うような形状であるのに対して、イルシチ川の場合、川幅が狭く、河岸形状と河川全体の形状に大差がないことから、似たフラクタル次元となった。この様に河川規模によりそれぞれの特徴あるフラクタル次元となる。

上記以外の世界の大河について解析したフラクタル次元を表-3.3.2 に示す。

表-3.3.2 世界の大河についてのフラクタル次元

河川名	国名・地名	川幅の規模	フラクタル次元		
			左岸	右岸	河川全幅
アマゾン	ブラジル・マナウス	W	0.98	0.99	1.34
イルシチ	ロシア・ハンチマンシークス	N	1.16	1.18	1.17
ユーフラテス	トルコ・ケバン	N	1.05	1.03	1.05
セーヌ	フランス・パリ	N	1.08	1.06	1.12
スモーキー	カナダ・アルバータ州	M	1.05	1.02	1.10
モスクワ	ロシア・モスクワ	N	1.08	1.14	1.15
タポホヌ	ブラジル・イタイトバ	W	0.97	0.98	1.18
ウスリー	ロシア・ビギン	N	0.99	0.99	1.04
ソンカー	ベトナム・ビン	N	1.08	1.06	1.11
スワン	オーストラリア・パース	N	1.06	1.04	1.08
マレー	オーストラリア・ミルズーラ	N	1.15	1.15	1.14
メコン	カンボジア・プノンペン	M	1.00	1.01	1.10

W:川幅広い, N:川幅狭い, M:川幅中位

これを見ると、いずれの河川も左岸と右岸のフラクタル次元に大きな差は見られない。すなわち、同じ河川では左岸・右岸ともに同じ程度の複雑さで河川が形成されていることになる。ほとんどの川の河岸線はフラクタル次元が  $d=1.0 \sim d=1.2$  の範囲に分布しており、河岸線が平面を覆い尽くすような蛇行する河川はなく、これら河川の河岸線はそれほど複雑な曲線ではないことが言える。従って、河岸線のフラクタル次元は  $d=1.0$  程度から大きくても  $d=1.2$  までと考えられる。この中でイルシチ川の右岸のフラクタル次元が  $d=1.18$  と他の河川に比べて一番高く、最も複雑な河岸線を有していると言える。

川幅を含めた河川全幅のフラクタル次元は、河川幅が広ければ広いほど、平面を覆うような形状をしているため、河岸線のフラクタル次元は河川全体の形状の変化を読みとれる。



この様に人工衛星データを用いたフラクタル次元の測定は、作業が容易で、大きな範囲を抽出することができるとともに、経時的変化を追跡することも容易である。

したがって、データが取得できれば、フラクタル次元の変化を求めることで、世界中何処においてでも、開発に伴う継続的な沿岸線の変化規模や変化速度のモニタリングが可能となる。

### 3. 3. 2 北部九州の河川

これまで河川形状のフラクタル次元を求める場合，地形図をトレースして解析する手法が利用されてきた．本節では，宮崎の一部を含む北部九州を流れる河川に着目して，人工衛星データ及び地図情報データを用いてフラクタル次元の測定を行った．対象河川は図-3.3.5 に示す，長崎県の佐々川，佐賀県の塩田川，松浦川，六角川，大分県の山国川，<sup>やっかんかわ</sup> 駅館川，大野川，福岡県の那珂川，御笠川，室見川，筑後川および宮崎県の北川の 12 河川である．利用した人工衛星は，LANDSAT/MSS，LANDSAT/TM，SPOT/HRV の 3 種類である．使用した人工衛星データは表-3.3.3 に示す．これら人工衛星データは，搭載しているセンサーにより解像度（地上分解能）が以下の様に異なっている．

\* LANDSAT/MSS は 80m×80m 四方

\* LANDSAT/TM は 30m×30m 四方

\* SPOT/HRV は 20m×20m 四方

地図情報データは国土地理院発行の縮尺 1/25,000 の地形図を用いた．

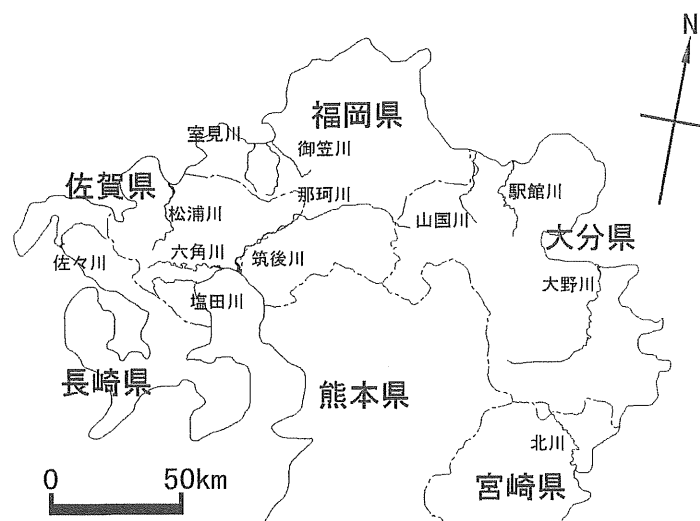


図-3.3.5 解析した河川の位置

表-3.3.3 使用した人工衛星データとフラクタル次元の解析

河川名	県名	衛星数値データ		
		LANDSAT/MSS	LANDSAT/TM	SPOT/HRV
佐々川	長崎県	○	○	-
塩田川	佐賀県	○	○	-
六角川	佐賀県	○	○	○
松浦川	佐賀県	○	○	○
山国川	大分県	○	○	-
駅館川	大分県	○	○	-
大野川	大分県	○	○	-
那珂川	福岡県	-	○	○
御笠川	福岡県	-	○	○
室見川	福岡県	-	○	○
筑後川	福岡県	○	○	○
北川	宮崎県	○	○	-
備考		解像度： 80m × 80m	解像度： 30m × 30m	解像度： 20m × 20m

(1) 長崎・佐賀・大分・宮崎の河川

長崎・佐賀・大分県・宮崎各県を流れる 6 河川の本流についてフラクタル次元解析を実施した。河川名とその解析範囲は以下のとおりである。

各河川の LANDSAT/MSS 画像及び LANDSAT/TM 画像を画像-3.3.3～画像-3.3.8 に示す。

- ①佐々川は世知原町より下流：長崎県（画像－3.3.3）
- ②塩田川は嬉野町より下流：佐賀県（画像－3.3.4）
- ③<sup>やつかんかわ</sup>駅館川は安心院町より下流：大分県（画像－3.3.5）
- ④山国川は耶馬溪ダムより下流：大分県（画像－3.3.6）
- ⑤大野川は三重町より下流：大分県（画像－3.3.7）
- ⑥北川は北川ダムより下流：宮崎県（画像－3.3.8）

表-3.3.4 は各河川のフラクタル次元を一覧したものである。

表-3.3.4 各河川のフラクタル解析結果一覧表

フラクタル次元を求める手段		佐々川			塩田川		
		フラクタル次元			フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅	左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.02	1.02	1.45	1.00	1.00	1.45
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	1.01	0.99	1.47	1.00	1.01	1.53
	LANDSAT/TM	1.02	1.01	1.46	0.99	1.01	1.49
	SPOT/HRV	－	－	－	－	－	－
	2つの衛星数値データの併用	1.01	1.01	1.44	0.99	1.01	1.49
地形図と衛星数値データの併用		1.01	1.01	1.44	0.99	1.01	1.49
フラクタル次元を求める手段		山国川			駅館川		
		フラクタル次元			フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅	左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.01	1.01	1.36	1.01	1.00	1.41
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	0.99	1.00	1.27	0.98	0.99	1.35
	LANDSAT/TM	1.00	1.01	1.33	1.02	1.00	1.40
	SPOT/HRV	－	－	－	－	－	－
	2つの衛星数値データの併用	1.00	1.00	1.31	1.01	0.99	1.38
地形図と衛星数値データの併用		1.00	1.00	1.31	1.01	0.99	1.38
フラクタル次元を求める手段		大野川			北川		
		フラクタル次元			フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅	左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.01	1.01	1.50	1.01	1.01	1.39
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	0.99	0.99	1.50	1.00	1.00	1.33
	LANDSAT/TM	1.01	1.01	1.54	1.00	1.01	1.38
	SPOT/HRV	－	－	－	－	－	－
	2つの衛星数値データの併用	1.00	1.00	1.51	1.00	1.00	1.35
地形図と衛星数値データの併用		1.00	1.00	1.51	1.00	1.00	1.35

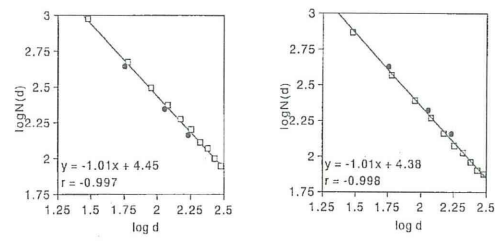


(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



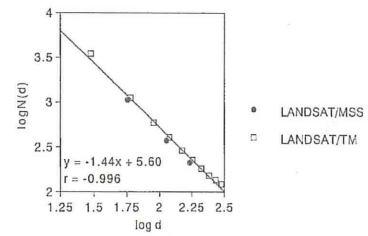
(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.3.3 佐々川の衛星画像



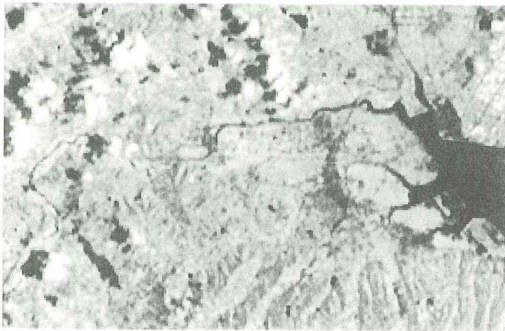
(a) 左岸

(b) 右岸



(c) 全体

図-3.3.6 佐々川の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係

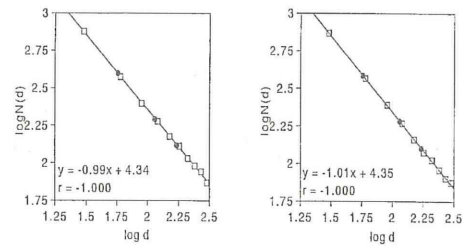


(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



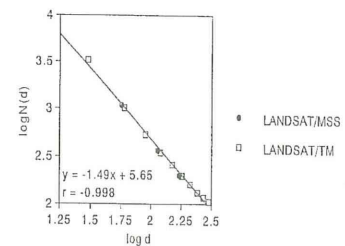
(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.3.4 塩田川の衛星画像



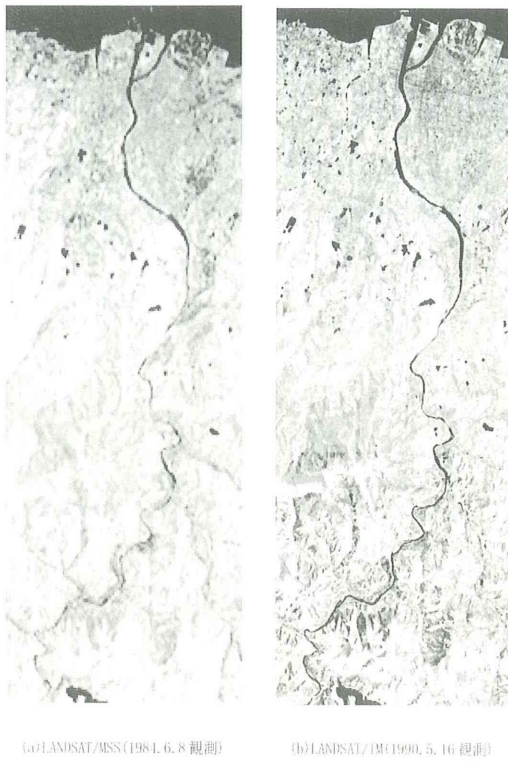
(a) 左岸

(b) 右岸

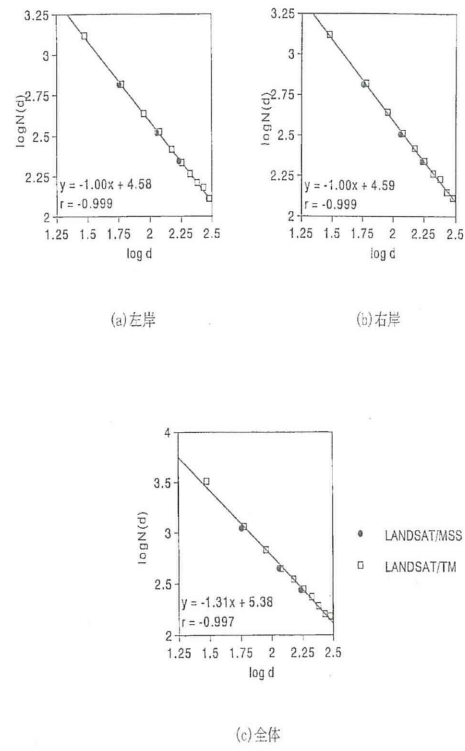


(c) 全体

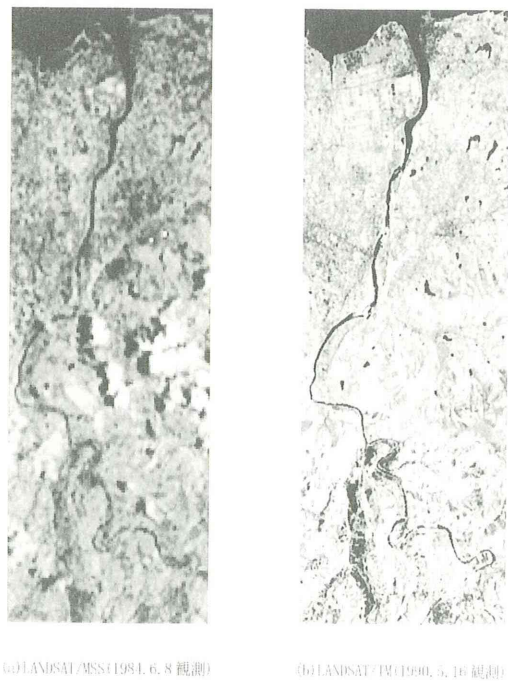
図-3.3.7 塩田川の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



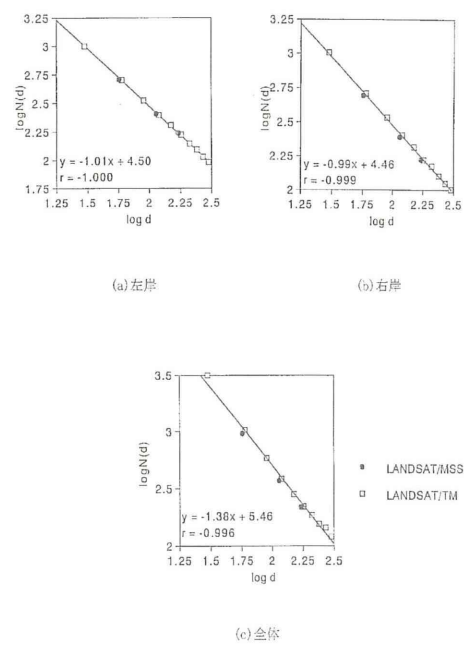
画像・3.3.5 山国川の衛星画像



図・3.3.8 山国川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

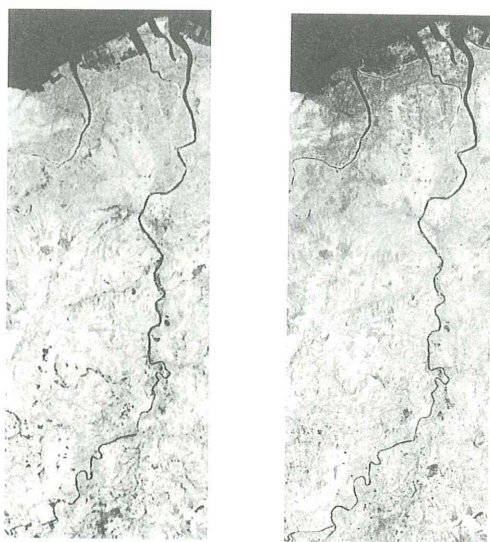


画像・3.3.6 駅館川の衛星画像



図・3.3.9 駅館川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

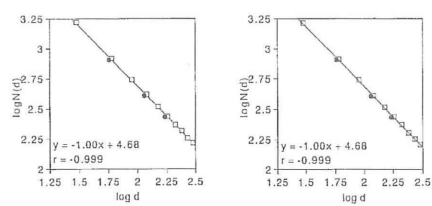




(a) LANDSAT/MSS (1984. 6. 8 観測)

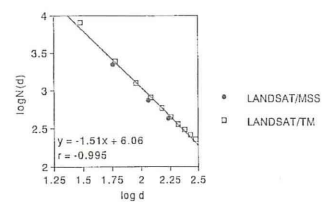
(b) LANDSAT/TM (1990. 5. 16 観測)

画像-3.3.7 大野川の衛星画像



(a) 左岸

(b) 右岸

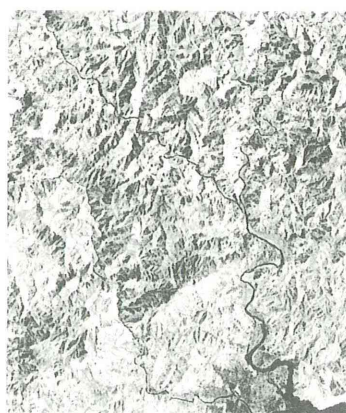


(c) 全体

図-3.3.10 大野川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

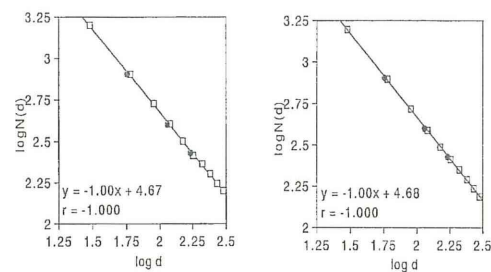


(a) LANDSAT/MSS (1984. 6. 8 観測)



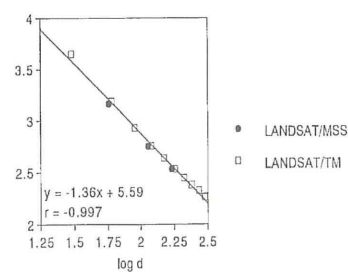
(b) LANDSAT/TM (1990. 5. 16 観測)

画像-3.3.8 北川の衛星画像



(a) 左岸

(b) 右岸



(c) 全体

図-3.3.11 北川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

## I. 人工衛星データによる河川のフラクタル次元

### ①佐々川

佐々川は長崎県の北松地帯に位置し、砂岩、泥岩互層の堆積岩地帯で上部を火山性の玄武岩が覆う地域を流れる。佐々川のフラクタル次元( $d$ )からみる河川形状の複雑度は以下のとおりである。

左岸は、LANDSAT/MSS データから求めた値は、 $d=1.01$  であり、LANDSAT/TM データでは  $d=1.02$  となった。

右岸は、LANDSAT/MSS データでは  $d=0.99$  であり、LANDSAT/TM データでは  $d=1.01$  となった。

川幅を含めた河川全体は、LANDSAT/MSS データでは  $d=1.47$  であり、LANDSAT/TM データでは  $d=1.46$  となった。

それぞれの人工衛星データから求めたフラクタル次元の左右岸と河川全体を見比べれば大きな差はなく、両人工衛星データとも似た値が得られた。

佐々川は直線に近い線形を有する河川で、その広がりも平面を覆う様な蛇行は示していないことがわかる。

LANDSAT/MSS は解像度  $80\text{m} \times 80\text{m}$  と他の衛星データに比べて粗く、得られるデータ数が少ない。そこで LANDSAT/MSS と LANDSAT/TM の両データを組み合わせることで、LANDSAT/MSS のデータ数の少なさを補うこととした。

その結果、

①図-3.3.6 (a) より、左岸形状のフラクタル次元は  $d=1.01$  (相関係数:  $\gamma = -0.997$ )

②図-3.3.6 (b) より、右岸形状のフラクタル次元は  $d=1.01$  (相関係数:  $\gamma = -0.998$ )

③図-3.3.6 (c) より、河川全体のフラクタル次元は  $d=1.44$  (相関係数:  $\gamma = -0.996$ )

となり、ほぼ直線上にプロットされ相関係数も高く、フラクタル性を有していることが示された。このことから、種類の異なる人工衛星データから求めたフラクタル次元間に大きな差はなく、河川線形のフラクタル次元を求める際に異なったデータを組み合わせることも可能であると言える。

以下の河川については、2つの人工衛星データを併用した結果を整理する。

### ②塩田川

塩田川は、長崎県と佐賀県の県境近くを流れ有明海に注ぐ河川で、杵島層群と呼ばれる第三紀の堆積岩地帯を流下する。左岸のフラクタル次元は  $d=0.99$ 、右岸のフラクタル次元は  $d=1.01$ 、河川全体のフラクタル次元は  $d=1.49$  である。左岸より右岸のフラクタル次元が若干高く、右岸の方がより複雑であることが分かる。川全体では、上流部の狭さと河口部の広さが影響して、河川全体のフラクタル次元は  $d=1.49$  と大きな値が得られている。(画像-3.3.4 と図-3.2.7)

大分県内を流れ、周防灘に注ぐ山国川と<sup>やっかんかわ</sup>駅館川、別府湾に注ぐ大野川は、いずれも阿蘇山を起源とする第四紀の火山岩地帯を流れる河川である。それぞれのフラクタル次元は、左岸が、 $d=1.00$ ,  $d=1.01$ ,  $d=1.00$ , 右岸が、 $d=1.00$ ,  $d=0.99$ ,  $d=1.00$ , 河川全体が  $d=1.31$ ,  $d=1.38$ ,  $d=1.51$  である。

### ③山国川

山国川の左岸と右岸のフラクタル次元は、ともに  $d=1.00$  と同じ値であり、直線に近い線形を有していると言える。川全体のフラクタル次元は  $d=1.31$  と前出した佐々川や塩田川と比較すると小さい。上流部が狭いのはいずれの河川も同じであるが、河口部の広がり方が狭いために佐々川や塩田川の値と異なつたと考えられる。（画像-3.3.5 と図-3.2.8）

### ④<sup>やっかんかわ</sup>駅館川

<sup>やっかんかわ</sup>駅館川の左岸と右岸を比較すると、左岸のフラクタル次元が若干高いことから、左岸側が若干複雑である。全体のフラクタル次元も  $d=1.38$  と山国川と同様に河口部がそれほど広がっていないために大きな値が得られなかった。（画像-3.3.6 と図-3.2.9）

### ⑤大野川、

大野川の左右岸のフラクタル次元は共に  $d=1.00$  であり、左右岸は共に直線的で単純な線形であることが分かる。河川全体のフラクタル次元は、 $d=1.51$  であり大きな値が得られている。（画像-3.3.7 と図-3.2.10）

これを見ると、左右岸の河川岸部の形状はいずれも似た複雑度を示しているが、河川全体を見ると、国東半島の北に位置する山国川及び<sup>やっかんかわ</sup>駅館川と南に位置する大野川では河川規模の違いもあり、河川全体の広がりには違いがみられる。似た規模の山国川と<sup>やっかんかわ</sup>駅館川では  $d=1.31$  と  $d=1.38$  であり、大野川が  $d=1.51$  を示し、より平面的に複雑に流下していることがわかる。大野川が 6 河川の中では一番大きな値が得られている。これは、対象河川の中で最も平面を覆うように拡がって流下しているためと考えられる。

### ⑥北川

北川は、宮崎県北部を流れ日向灘に注ぐ。当河川は四万十層群と呼ばれる中生代の堆積岩地帯を流下している。左岸のフラクタル次元は  $d=1.00$ , 右岸のフラクタル次元は  $d=1.00$ , 河川全体のフラクタル次元は  $d=1.35$  である。左右岸のフラクタル次元は  $d=1.00$  と同程度を示し、直線に近い単純な線形を有する。河口部が少し広がる程度であつたので川全体のフラクタル次元は  $d=1.35$  とそれほど大きな値とはならなかった。（図-3.2.11 と画像-3.3.8）

以上、人工衛星データを利用して得た各河川のフラクタル次元を見ると、6 河川ともに左岸、右岸に大きな差はなく、両岸共に直線に近い、単純な線形を有していると言える。



川幅も含めた河川全体のフラクタル次元は、河岸線と異なり面として捉えられるので、河岸線のフラクタル次元より高い値が得られている。2つの人工衛星データを併用しても同じ様なフラクタル次元が得られることが分かる。相関係数に関しても、一番相関係数が低いもので $\gamma = -0.995$ であり、全体に高い相関性を示し、これら河川はフラクタル構造を有していると言える。

LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データを組み合わせで求めたフラクタル次元を見ると、佐々川、山国川、大野川及び北川の両河岸は、同程度の複雑さであることが分かる。塩田川は右岸が若干複雑であり、<sup>ぎつかんかわ</sup> 駅館川は左岸が若干複雑であるということになる。山国川と北川は、左岸、右岸の複雑さだけでなく河川全体の広がり方の複雑さも同程度であり、似たような複雑さを持っていることになる。各河川は、第四紀の火山岩地帯、第三紀や中生代の堆積岩地帯等、異なる地質構造の地域を流下しているが、河川形成時期がそれぞれ違うことから、フラクタル次元と地質面の間には特徴的な傾向は見られなかった。

## II. 地形図情報データによる河川のフラクタル次元

通常行われる地形図情報データから求めたフラクタル次元を表-3.3.4(前出)に併記する。比較のために人工衛星データと地形図情報データを組み合わせたフラクタル次元も付記した。地図情報データから求めたフラクタル次元は、従来と同様のフラクタル次元解析から得られた値である。

地形図情報から求めた佐々川のフラクタル次元を見ると、左右岸ともに  $d=1.02$ 、河川全体が  $d=1.45$  であった。前述した2つの人工衛星データを組み合わせたフラクタル次元は、左右岸が共に  $d=1.01$ 、河川全体が  $d=1.44$  と、異なるデータを組み合わせてもお互い近い値が得られている。

川幅を含めた河川全体のフラクタル次元は、河岸線のフラクタル次元より大きな値となっている。その他の河川についても、表-3.3.4を見ると分かるように、左岸、右岸のフラクタル次元は、LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データを組み合わせで求めたフラクタル次元に近い値であり、川全体のフラクタル次元も若干の差はあるものの近い値が得られている。LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データの2つのデータからそれぞれ求めたフラクタル次元及び2つのデータを組み合わせで求めたフラクタル次元は、従来の方法である地図情報データからのフラクタル次元に非常に近く、人工衛星データを用いてフラクタル次元を求めることは簡便・迅速かつリアルタイムであることからも有用であると言える。

## (2) 福岡湾に注ぐ河川

福岡市周辺の河川は、福岡湾に注ぐ那珂川、御笠川、室見川の本流を対象とした。解析範囲は以下のとおりである。

①那珂川は那珂川町より下流（画像-3.3.9）

②御笠川は太宰府市より下流（画像-3.3.9）

③室見川は福岡市内を流れる河川部（画像-3.3.10）

各河川の位置は図-3.3.5 に示す様に、那珂川と御笠川は河口部で近接した河川で、室見川は佐賀県県境を源とし、福岡市の西側を流下する河川である。いずれの河川も使用した人工衛星データは LANDSAT/M データと SPOT/HRV データである。

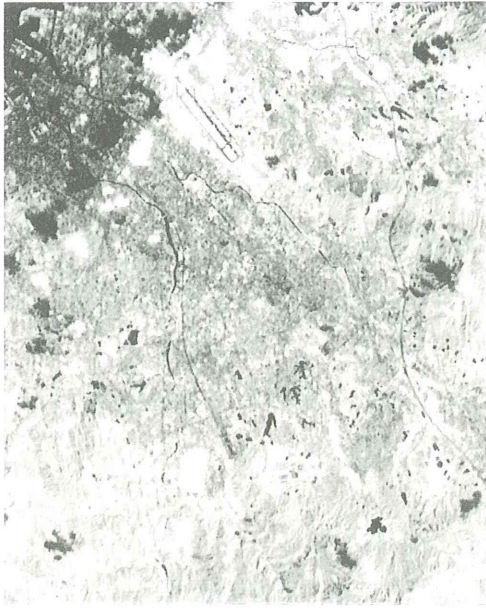
表-3.3.5 は 3 河川の人工衛星データならびに地図情報から得られた解析結果を示す。

表-3.3.5 各河川のフラクタル解析結果一覧表

フラクタル次元を求める手段		那珂川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.01	1.01	1.25
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	—	—	—
	LANDSAT/TM	1.00	1.01	1.17
	SPOT/HRV	1.01	1.01	1.29
	2つの衛星数値データの併用	1.00	1.00	1.23
地形図と衛星数値データの併用		1.00	1.00	1.23
フラクタル次元を求める手段		御笠川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.00	0.99	1.09
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	—	—	—
	LANDSAT/TM	1.00	1.00	1.06
	SPOT/HRV	1.00	1.00	1.18
	2つの衛星数値データの併用	1.00	0.99	1.12
地形図と衛星数値データの併用		1.00	0.99	1.12
フラクタル次元を求める手段		室見川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		0.99	0.99	1.36
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	—	—	—
	LANDSAT/TM	0.98	0.99	1.32
	SPOT/HRV	1.00	1.00	1.42
	2つの衛星数値データの併用	0.98	0.98	1.36
地形図と衛星数値データの併用		0.98	0.98	1.36

### ①那珂川

那珂川の解析結果を見ると、左岸は LANDSAT/TM データによるフラクタル次元が  $d=1.00$ 、SPOT/HRV データによるフラクタル次元は  $d=1.01$  であった。右岸は LANDSAT/TM データと SPOT/HRV データが共に  $d=1.01$  であった。川幅を含めた河川全体は、LANDSAT/TM データからのフラクタル次元は  $d=1.17$ 、SPOT/HRV データからは  $d=1.29$  で

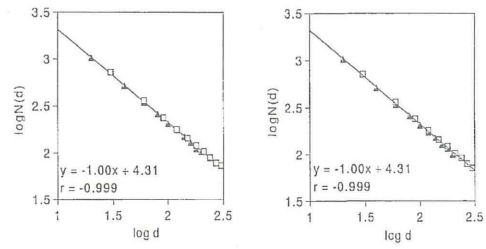


(a) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)



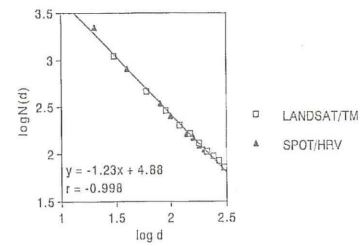
(b) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

画像-3.3.9 那珂川（西側）と三笠川（東側）  
の衛星画像



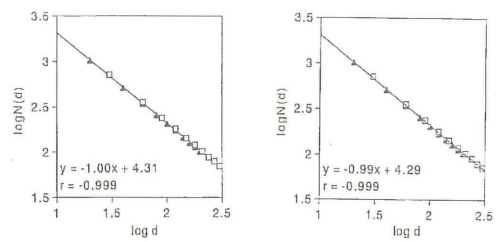
(a) 左岸

(b) 右岸



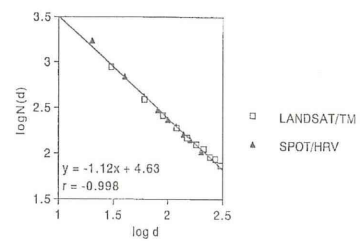
(c) 全体

図-3.3.12 那珂川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係



(a) 左岸

(b) 右岸

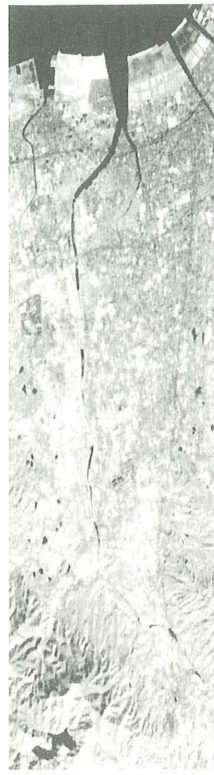


(c) 全体

図-3.3.13 那珂川（西側）と三笠川（東側）の  
 $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

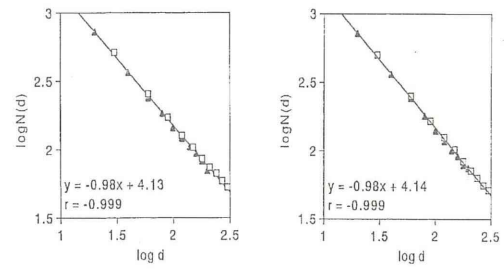


(a) LANDSAT/TM(1992. 9. 17 観測)



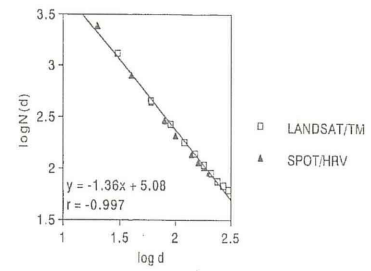
(b) SPOT/HRV(1986. 8. 20 観測)

画像・3.3.10 室見川（西側）の衛星画像



(a) 左岸

(b) 右岸



(c) 全体

図・3.3.14 室見川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

あった．左・右岸の河川形状を見比べると，それぞれの人工衛星データから求めたフラクタル次元は同じ値が得られている．川幅を含めた河川全体のフラクタル次元には若干差がでている．使用した LANDSAT/TM データと SPOT/HRV データを組み合わせると，同様にフラクタル次元を求めた．それぞれのデータを一つにして，プロットしたものが図-3.3.12，図-3.3.13，図-3.3.14 である．

左右岸のフラクタル次元は共に  $d=1.00$  であり，河川全体のフラクタル次元は  $d=1.23$  であった．図からも分かるように併用したプロットした点もほぼ直線上に分布し（相関係数：左岸  $\gamma=-0.999$ ，右岸  $\gamma=-0.999$ ，全体  $\gamma=-0.998$ ），フラクタル構造を有していると言える．両河岸のフラクタル次元はそれぞれの人工衛星データから求めた値に大きな差はなく，（LANDSAT/TM と SPOT/HRV において，左岸がそれぞれ  $d=1.00$  と  $d=1.01$ ，右岸が共に  $d=1.01$ ）河川線形のフラクタル次元を求める際に，異なるデータを組み合わせることも可能である．（画像-3.3.9 と図-3.3.12）

## ②御笠川

御笠川の左岸と右岸のフラクタル次元は，LANDSAT/TM と SPOT/HRV とともに  $d=1.00$  となり，同じ複雑さを持っている．川幅を含めた川全体のフラクタル次元は，LANDSAT/TM と SPOT/HRV においてそれぞれ  $d=1.06$  と  $d=1.18$  となり，解像度が高い SPOT/HRV のフラクタル次元が大きくなった．（画像-3.3.9 と図-3.3.13）

那珂川と御笠川のフラクタル次元を比べると，御笠川の方が那珂川より川幅が狭いことから，小さいフラクタル次元が得られた．

## ③室見川

室見川も左岸及び右岸のフラクタル次元は，LANDSAT/TM がそれぞれ  $d=0.98$  と  $d=0.99$  であり，SPOT/HRV が共に  $d=1.00$  と値に僅かな違いはあるが，左右岸のフラクタル次元は概ね同値となった．これから左右岸ともにほぼ同じような単純な曲線であることが分かる．川全体のフラクタル次元は  $d=1.32$  と  $d=1.42$  であり，那珂川（ $d=1.17$ ， $d=1.29$ ）や御笠川（ $d=1.06$ ， $d=1.18$ ）よりも河口部の広がり方が大きいので高い値が得られている．（画像-3.3.10 と図-3.3.14）

この様に，個々の人工衛星データを利用した解析結果を見ると，3 河川ともに左岸，右岸のフラクタル次元に大きな差はなく，両河岸の河川形状は同じ程度の複雑さを持っているということになる．川幅も含めた川全体のフラクタル次元は，河岸線と異なり面を覆うような形状であるため，河岸線のフラクタル次元より高い値が得られている．

2 つの人工衛星データを併用した場合，左岸，右岸，川全体ともに同じ様なフラクタル次元が得られることが判る．例えば，那珂川，御笠川及び室見川の 3 河川とも河岸線のフラクタル次元は，那珂川が左右岸共に  $d=1.00$ ，御笠川は左岸が  $d=1.00$ ，右岸が

$d=0.99$ , 室見川が共に  $d=0.98$  である. いずれのフラクタル次元も  $d=1$  に近く, 直線のように単純な線形である. 河川全体のフラクタル次元を見ると,  $d=1.12\sim 1.36$  の範囲にあるが, 室見川は河口付近が広がり, 川幅も広いために, 他の 2 河川と比較すると川全体のフラクタル次元は大きな値になっている.

地形図による地図情報データからの解析結果を, 人工衛星データと比較するために表-3.3.5 に併記した.

地形図から求めた那珂川のフラクタル次元は, 左右岸共に  $d=1.01$ , 全体が  $d=1.25$  であり, 左岸, 右岸ともに人工衛星データを組み合わせて求めたフラクタル次元は,  $d=1.00$  と似た値が得られている. また, 川幅を含めた河川全体のフラクタル次元も, 河岸線のフラクタル次元より大きな値になっている.

LANDSAT/TM データ, SPOT/HRV データの 2 つのデータから, それぞれ求めたフラクタル次元, 及び 2 つのデータを組み合わせて求めたフラクタル次元は, 地図情報データから従来の方法で求めたフラクタル次元に非常に近く, これまでと同様の評価ができる結果と考えられる. 広範囲かつ迅速に地形形状の複雑さや変化を把握することが可能なため, 地形改変等の環境モニタリングに有用であると言える.

### (3) 唐津湾，有明海に注ぐ河川

福岡県と佐賀県の河川のうち，唐津湾に注ぐ松浦川ならびに有明海に注ぐ筑後川と六角川の本川部分を取り上げた．各河川の解析範囲は以下のとおりである．

①松浦川は相知町より下流（画像-3.3.11）

②筑後川は筑後大堰付近より下流（画像-3.3.12）

③六角川は北方町と武雄市の境界付近より下流（画像-3.3.13）

使用した人工衛星データは，LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データおよび SPOT/HRV データの3種類である．それぞれの河川の位置は，図-3.3.5 に示した．

表-3.3.6 は3河川の人工衛星データならびに地図情報から得られた解析結果を示す．

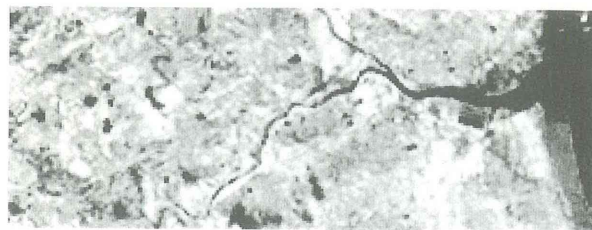
表-3.3.6 各河川のフラクタル解析結果の一覧表

フラクタル次元を求める手段		松浦川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.00	1.00	1.51
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	0.99	1.00	1.55
	LANDSAT/TM	1.00	1.01	1.51
	SPOT/HRV	1.00	1.00	1.58
	2つの衛星数値データの併用	0.99	1.00	1.53
地形図と衛星数値データの併用		0.99	1.00	1.53
フラクタル次元を求める手段		筑後川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.01	0.99	1.63
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	1.00	1.00	1.61
	LANDSAT/TM	1.00	1.00	1.68
	SPOT/HRV	1.00	1.00	1.75
	2つの衛星数値データの併用	0.99	0.99	1.70
地形図と衛星数値データの併用		0.99	0.99	1.70
フラクタル次元を求める手段		六角川		
		フラクタル次元		
		左岸	右岸	河川全幅
地形図情報		1.00	1.02	1.51
衛星 データ 数値	LANDSAT/MSS	1.00	0.98	1.47
	LANDSAT/TM	1.00	0.99	1.52
	SPOT/HRV	1.00	1.01	1.61
	2つの衛星数値データの併用	0.99	0.99	1.54
地形図と衛星数値データの併用		0.99	0.99	1.54

#### ①松浦川

松浦川の解析結果を見ると，左岸のフラクタル次元は，LANDSAT/MSS データが  $d=0.99$ ，LANDSAT/TM データでは  $d=1.00$ ，SPOT/HRV データが  $d=1.00$  であった．右岸では LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データが  $d=1.00$ ，SPOT/HRV データが  $d=1.01$  という値が得られた．川幅を含めた河川全体は，LANDSAT/MSS データ，LANDSAT/TM データ及び SPOT/HRV データからそれぞれ  $d=1.55$ ， $d=1.51$ ， $d=1.58$  という値が求まった．これ

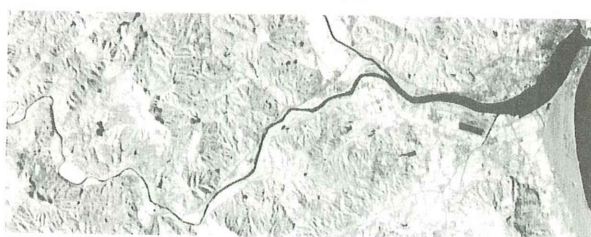




(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

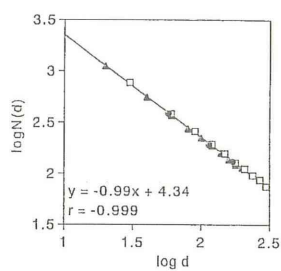


(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

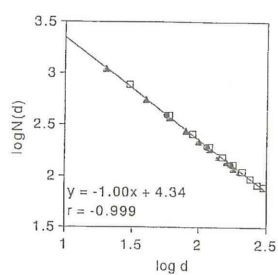


(c) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

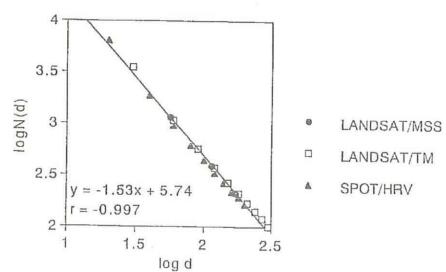
画像-3.3.11 松浦川の衛星画像



(a) 左岸



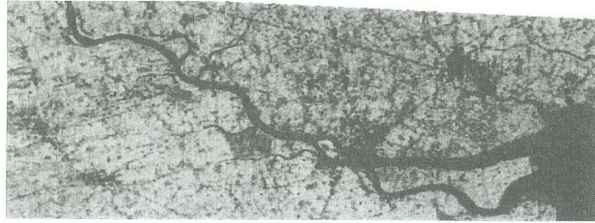
(b) 右岸



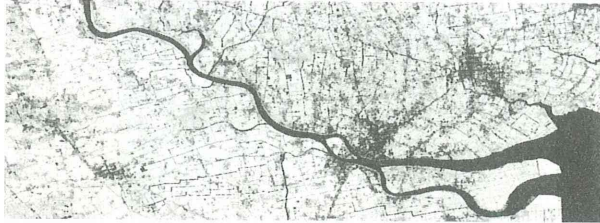
(c) 全体

図-3.3.15 松浦川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

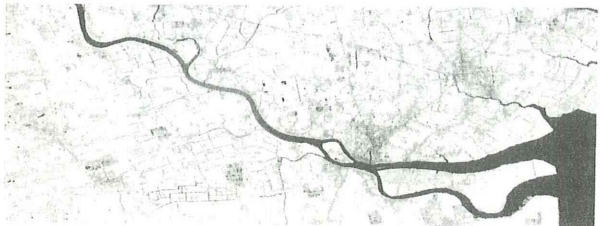




(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

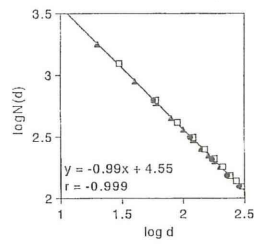


(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

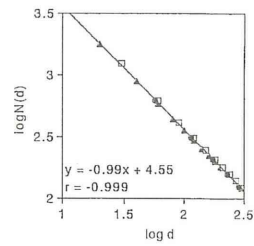


(c) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

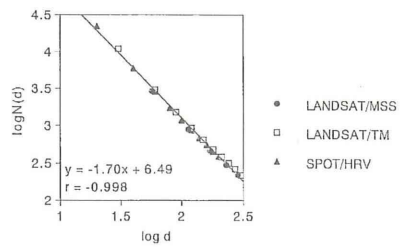
画像・3.3.12 筑後川の衛星画像



(a) 左岸

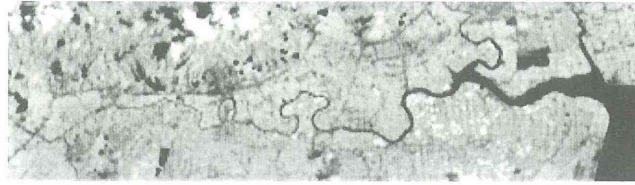


(b) 右岸



(c) 全体

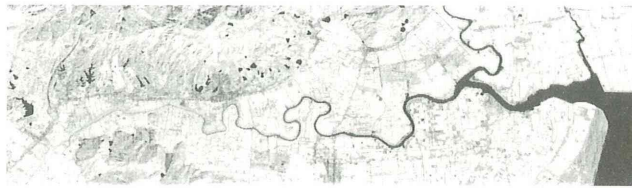
図・3.3.16 筑後川の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

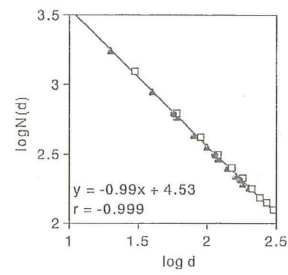


(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

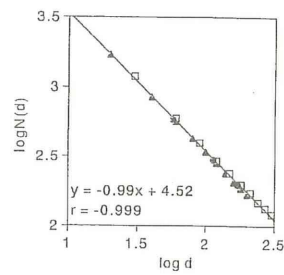


(c) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

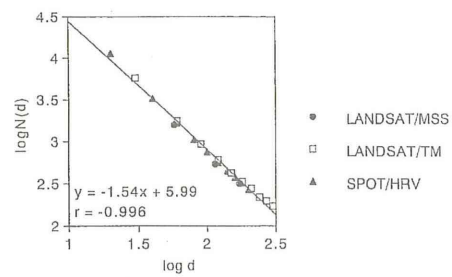
### 画像・3.3.13 六角川の衛星画像



(a) 左岸



(b) 右岸



(c) 全体

図・3.3.17 六角川の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

らを見ると、3種類の人工衛星データから得られた河川線形のそれぞれのフラクタル次元は概ね似た値を得ている。

LANDSAT/MSS, LANDSAT/TM, SPOT/HRV3 種類の人工衛星データを組み合わせて解析した結果を、図-3.3.15, 図-3.3.16, 図-3.3.17 に示す。

併用データによる松浦川のフラクタル次元は、左岸が  $d=0.99$ 、右岸が  $d=1.00$ 、河川全体が  $d=1.53$  であった。プロットした点は相関係数 ( $\gamma$ ) を見ても分かるように (左岸  $\gamma=-0.999$ , 右岸  $\gamma=-0.999$ , 全体  $\gamma=-0.997$ )、フラクタル構造を有している。3種類のデータを併用して得た河川線形のフラクタル次元は、個別の人工衛星データから得られた結果と同様の結果が得られることが明らかである。(画像-3.3.11 と図-3.3.15)

## ②筑後川

筑後川の左岸と右岸を比較すると、フラクタル次元は  $d=0.99$  となり左右岸ともに同じ複雑さを持つ河岸線であることが分かる。川幅を含めた川全体のフラクタル次元は、 $d=1.70$  と高い次元を有している。このフラクタル次元は、対象とした九州北部の河川の中で最も高い値であった。この理由として、対象河川の中で最も広い川幅を有する河川であることから、この値は妥当な値であることが分かる。(画像-3.3.12 と図-3.3.16)

## ③六角川

六角川は、左右岸のフラクタル次元が  $d=0.99$  であり、左右岸共に同程度の複雑さであると言える。六角川は筑後川のように河川の幅が広くないので、川全体のフラクタル次元は  $d=1.54$  であり、筑後川 ( $d=1.70$ ) よりも小さい値であった。

人工衛星データを組み合わせた値を比較すると、松浦川のフラクタル次元が六角川と非常によく似ており、松浦川と同じような複雑さを持ち合わせている河川であるといえる。(画像-3.3.13 と図-3.3.17)

3つの人工衛星データを併用した結果は、左岸、右岸、川全体ともにそれぞれのデータから得た結果と近い値を得ることができた。3河川の両河岸は、フラクタル次元が  $d=1$  に近いことから、比較的直線的で複雑ではなく、単純な形状であることが分かる。人工衛星データを見ると、六角川は他の2河川よりも蛇行を繰り返す部分があるように見えたが、それほど複雑ではないということになる。筑後川は川幅が広いので、他の2河川と比較すると、川全体のフラクタル次元は大きな値が得られている。

表-3.3.6 に地図情報データを利用した解析結果と人工衛星データから求められたフラクタル次元を比較のために併記する。

地形図から求めた松浦川のフラクタル次元は、左右岸共に  $d=1.00$  で、河川全体が

$d=1.51$  であった．人工衛星データを組み合わせて求めた左右岸のフラクタル次元は，それぞれ  $d=0.99$ ， $d=1.00$  であり，お互い近い値が得られている．川幅を含めた河川全体のフラクタル次元も，河岸線のフラクタル次元より大きくなり，人工衛星データから求めた値 ( $d=1.53$ ) に近い値である．

他の 2 河川に関しても同様のことが言える．地形図から求めた値と，LANDSAT/MSS，LANDSAT/TM 及び SPOT/RV の 3 つの人工衛星データを組み合わせて求めたフラクタル次元を見ると，筑後川が  $d=1.63$  と  $d=1.70$ ，六角川が  $d=1.51$  と  $d=1.54$  であり，数値に大きな差はなかった．人工衛星データを利用する方が若干高いフラクタル次元を得ている．この理由として，トレースに伴う抽出誤差が考えられる．この様にフラクタル次元を求める方法としては，従来の方法である地図情報データからのフラクタル次元と比較しても大きな差はなく，より精度が高く得られるといえる．従って，解像度が高い人工衛星からのデータを用いてフラクタル次元を求めることは有用であることが判る．

#### (4) 河川形状のフラクタル次元のまとめ

世界と北部九州の河川のフラクタル次元を整理し、表-3.3.7に一覧表として示す。

九州北部における河川の形状のフラクタル次元は、左岸、右岸のほとんどが  $d=1.00$  程度であり、直線的で単純な形状であると言える。表-3.3.7に示す様に世界の河川と比較した場合、日本国内の河川は、長さが非常に短く、急流であり、蛇行が少ない。蛇行が少ないということは、単純な形状であると言える。言い返せば世界の河川の多くは、全長も長く、緩やかであるため、日本の河川のように直線的でないといえる。従って、世界の河川のフラクタル次元は、日本の河川のフラクタル次元よりも大きな値が得られるのではないかと考えられる。

表-3.3.7 世界と北部九州の河川のフラクタル次元一覧表

河川名		国名・地名	フラクタル次元		
			左岸	右岸	河川全幅
アマゾン		ブラジル・マナウス	0.98	0.99	1.34
イルシチ		ロシア・ハンチマンシークス	1.16	1.18	1.17
ユーフラテス		トルコ・ケバン	1.05	1.03	1.05
セーヌ		フランス・パリ	1.08	1.06	1.12
スモーキー		カナダ・アルバータ州	1.05	1.02	1.10
モスクワ		ロシア・モスクワ	1.08	1.14	1.15
タポホヌ		ブラジル・イタイトバ	0.97	0.98	1.18
ウスリー		ロシア・ビギン	0.99	0.99	1.04
ソンカー		ベトナム・ビン	1.08	1.06	1.11
スワン		オーストラリア・パース	1.06	1.04	1.08
マレー		オーストラリア・ミルズーラ	1.15	1.15	1.14
メコン		カンボジア・プノンペン	1.00	1.01	1.10
河川名		県名	フラクタル次元		
			左岸	右岸	河川全幅
長崎・佐賀・大分・宮崎 の河川	佐々川	長崎県	1.02	1.01	1.46
	塩田川	佐賀県	0.99	1.01	1.49
	駅館川	大分県	1.02	1.00	1.40
	山国川		1.00	1.01	1.33
	大野川		1.01	1.01	1.54
	北 川	宮崎県	1.00	1.01	1.38
福岡湾に注ぐ河川	那珂川	福岡県	1.01	1.01	1.29
	御笠川		1.00	1.00	1.18
	室見川		1.00	1.00	1.42
唐津湾に注ぐ河川	松浦川	佐賀県	1.00	1.01	1.58
有明海に注ぐ河川	筑後川	福岡県	1.00	1.00	1.75
	六角川	佐賀県	1.00	1.01	1.61

河川の左岸と右岸形状は、フラクタル次元が同じような値であることから、兩岸とも同じような複雑さであることが判る。また、そのフラクタル次元の値は  $d=1.00 \sim d=1.20$  の範囲に集中し、複雑に見える河岸線も大きくて  $d=1.20$  程度であることが判る。逆に  $d=1$  に近い河岸線というのは、極端にいうと直線に近いような単純な形状であると言える。川幅を含めた河川全体のフラクタル次元は、 $d=1.10 \sim d=1.60$  程度の値を示し、面を覆うような形状であるため平面の次元である  $d=2$  に近い値を示している。ま

た、測定範囲の川幅が広ければ広いほど、フラクタル次元は  $d=2$  に近づく。河川線形のボックスカウンティング法によるフラクタル次元は、 $d=1.1 \sim d=1.3$  の値をとるという測定例<sup>6)</sup>があり、今回の測定結果とほぼ同じである。したがって、川幅も含めた川全体のフラクタル次元は  $d=1.1$  以上の値をとると考えられる。ただ、河岸線のフラクタル次元は、 $d=1.0$  以下のものが含まれ、全体的には既往の報告よりも次元が小さい。これは画素の集合から構成される人工衛星データを用いたことによる分解能の低さに起因する問題と思われる。今回の人工衛星データの分解能は、高精度のものでも  $20\text{m} \times 20\text{m}$  である。したがって、河岸線のような細かい凹凸形状を見る場合には、地形図などからのトレースと異なり、河岸線が一部連続しない場合も見られる。河岸線が連続しない場合には、そのフラクタル次元は  $d=1$  以下になることが考えられる。

本研究の他に河岸線のフラクタル次元を求めたものとしては、大野他<sup>7)</sup>による報告がある。この場合にも  $d=1.009 \sim d=1.197$  と  $d=1.0$  に近い値を示している。こうした河岸線のような凹凸形状を見る場合には、フラクタル次元は  $d=1$  に非常に近いが、直線的であるわけではない。割れ目面の粗度でも見られるように、 $\Delta d=0.01$  のフラクタル次元の違いは、粗度を2段階違える。こうしたことから、河岸線もある程度の複雑さがあると考えられる。

複数の人工衛星データを組み合わせてフラクタル次元を求めた結果を見ると、個々の人工衛星データから求めたフラクタル次元に非常に近く、相関係数も  $\gamma = -0.995$  前後と高く、フラクタル構造を有している。この様に、複数の人工衛星データを組み合わせて求めたフラクタル次元解析においても、従来から利用されてきた地図情報データから求めるフラクタル次元に近い値が得られているため、人工衛星データを用いた河川線形のフラクタル次元解析は、有効であると言える。

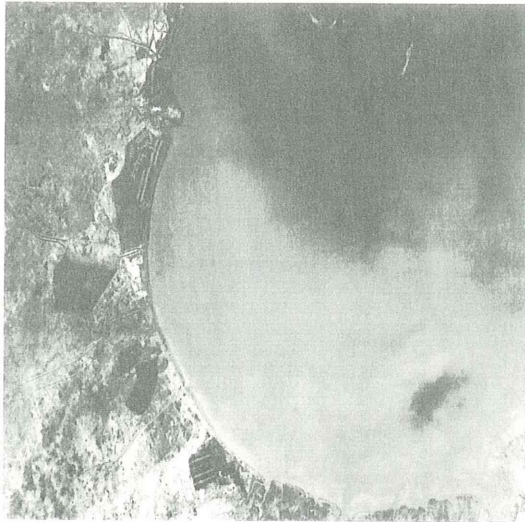
### 3. 4 海岸線形のフラクタル性評価

#### 3. 4. 1 世界の海岸線

本節では、世界の著名な海岸線のフラクタル次元を人工衛星画像集のデータから求め、その海岸線の評価を行う。人工衛星画像集のデータは LANDSAT 画像集<sup>8)</sup>、<sup>9)</sup> を利用した。解析に用いた海岸線の例として、中国の渤海湾とノルウェー・ベルゲン周辺をそれぞれ画像-3.4.1 と画像-3.4.2 に示す。渤海湾のフラクタル次元解析結果を対数グラフにプロットしたものを図-3.4.1、ベルゲン周辺のそれが図-3.4.2 である。見た目に単純そうな弧状の海岸線を有する渤海湾のフラクタル次元は  $d=1.00$  である。逆に見た目に複雑そうなベルゲン周辺のフラクタル次元は  $d=1.28$  であつた。渤海湾の海岸線は凹凸が少なく、緩やかな曲線からなる単純な形状であるということが言える。またベルゲン周辺は典型的な北欧ノルウェーのフィヨルド海岸である。フィヨルドのように複雑な海岸線のフラクタル次元は、 $d=1.3 \sim d=1.4$  程度の値を示すのではと考えていたが、実際は想像していたほどには大きくなかった。天然の海岸線のフラクタル次元は  $d=1.1 \sim d=1.4$  程度である<sup>8)</sup> と言われており、若干小さい値が得られたことが分かる。表-3.4.1 に今回解析した世界の海岸線名とそのフラクタル次元を示す。世界の海岸線は、複雑なものから単純なものまでいろいろあるが、単純に見えるものは河川の線形と同様に、フラクタル次元は  $d=1$  に近い値である。逆に、画像は掲載していないが、フラクタル次元が  $d=1$  に近いものは単純な海岸線形であることがわかる。複雑に見えるものは、直線のフラクタル次元である  $d=1$  よりも大きく  $d=1.20 \sim d=1.30$  程度の値を取っている。海岸線と河岸線を比べると海岸線の方が河岸線よりフラクタル次元が大きいことが分かる。従って海岸線の方がより複雑であるといえる。

表-3.4.1 世界の海岸線のフラクタル次元一覧

海岸名	国名・地名	フラクタル次元
渤海湾	中国	1.00
ベンゲル周辺	ノルウェー	1.28
ロンボク島	インドネシア	1.18
ペロポネソス半島	ギリシャ	1.08
ケープタウン周辺	南アフリカ共和国	1.09
ハイファ周辺	イスラエル	1.02
リヨン湾	フランス	1.13
クィーンズロングアイランド島	アメリカ合衆国	1.11
サマンダム半島	オマーン	1.27
ニューポート	アメリカ合衆国	1.24
オールバニ周辺	オーストラリア	1.10
高雄(カオシュン)周辺	台湾	1.03



画像-3.4.1 渤海湾の画像（中国文献 8 より抜粋）

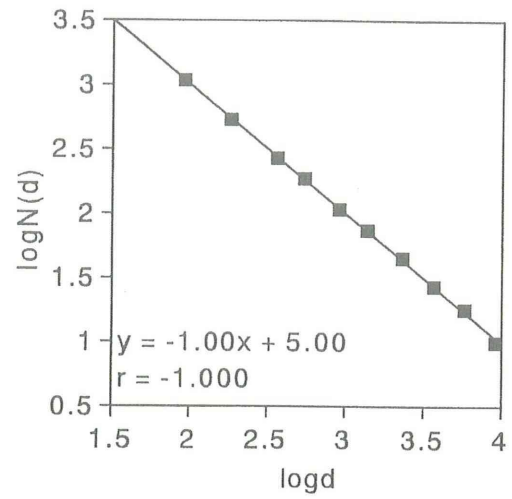
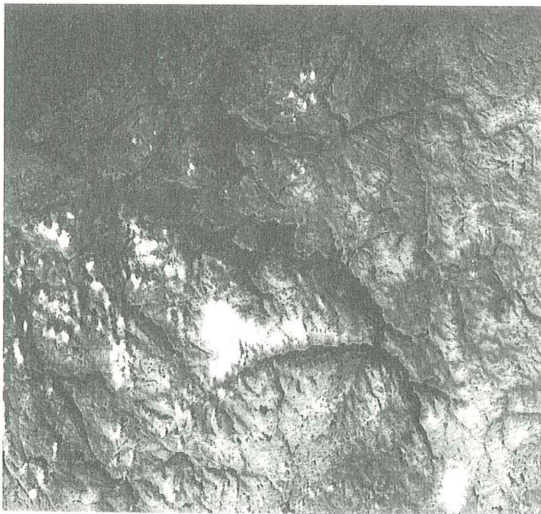


図-3.4.1 渤海湾の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



画像-3.4.2 ベンゲル周辺の画像  
(ノルウェー 文献 9 より抜粋)

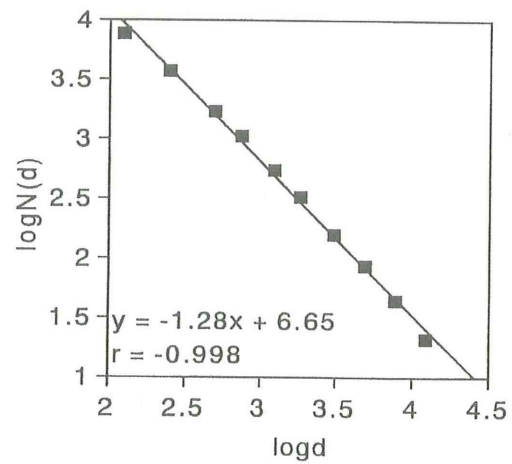


図-3.4.2 ベンゲル周辺の  
( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



3. 4. 2 北部九州の海岸線

ここでは、北部九州の海岸線についてフラクタル次元の測定を行った。解析に用いたデータは河川形状の場合と同様に、人工衛星データと地形図からの地図情報データである。使用した人工衛星データは、河川の形状解析と同様に LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データおよび SPOT/HRV データの 3 種類である。対象海岸により使用した人工衛星データを変えている。これら人工衛星データは、搭載されているセンサーにより解像度（地上分解能）は以下の様に異なっている。

- ＊ LANDSAT/MSS は 80m×80m 四方
- ＊ LANDSAT/TM は 30m×30m 四方
- ＊ SPOT/HRV は 20m×20m 四方

地図情報データは、国土地理院発行の縮尺 1/25, 000 の地形図である。

解析した海岸線は、図-3. 4. 3 に示す長崎県の①長崎半島、②西彼杵半島、③大村湾、④九十九島付近、⑤平戸島、⑥生月島、佐賀県の⑦東松浦半島、⑧有明海大分県の⑨国東半島、⑩津久見市付近、福岡県の⑪福岡市周辺、⑫糸島半島の 1 2 海岸線である。

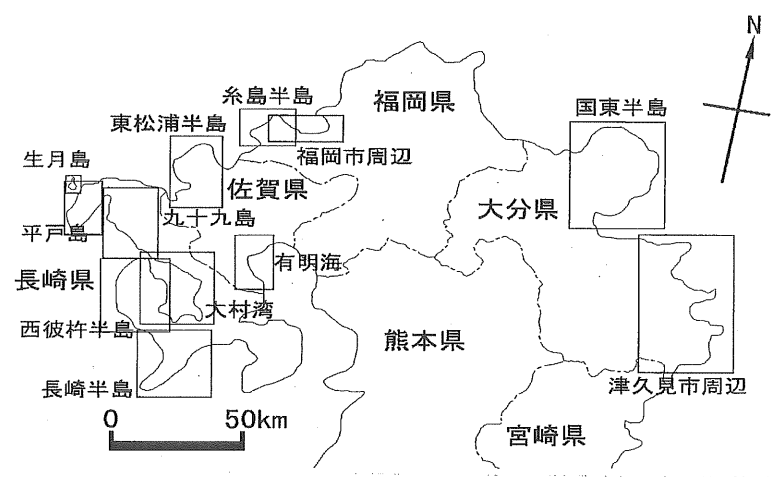


図-3. 4. 3 解析した海岸線の位置

表-3. 4. 2 使用した人工衛星データとフラクタル次元の解析

海岸線名	県名	衛星数値データ		
		LANDSAT/MSS	LANDSAT/TM	SPOT/HRV
長崎半島	長崎	○	○	-
西彼杵半島		○	○	-
大村湾		○	○	-
九十九島周辺		○	○	-
平戸島		○	○	-
生月島		○	○	-
東松浦半島	佐賀	○	○	-
有明海		○	○	-
国東半島	大分	○	○	-
津久見市周辺		○	○	-
福岡市周辺	福岡	○	○	○
糸島半島		○	○	○
備考		解像度： 80m×80m	解像度： 30m×30m	解像度： 20m×20m

(1) 長崎・佐賀および大分各県の海岸線

使用した人工衛星データは LANDSAT/MSS データ, LANDSAT/TM データと SPOT/HRV で, 解析画像は以下のとおりである.

長崎県では, ①長崎半島 (画像-3.4.3), ②西彼杵半島 (画像-3.4.4), ③大村湾 (画像-3.4.5), ④九十九島付近 (画像-3.4.6), ⑤平戸島 (画像-3.4.7), ⑥生月島 (画像-3.4.8)

佐賀県では, ⑦東松浦半島 (画像-3.4.9) と⑧有明海 (画像-3.4.10)

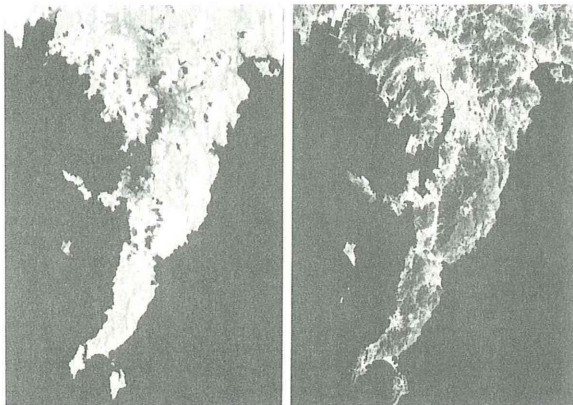
大分県では, ⑨国東半島 (画像-3.4.11) と⑩津久見市付近 (画像-3.4.12)

福岡県では, ⑪福岡市周辺 (画像-3.4.13) と⑫糸島半島 (画像-3.4.14) である. 対象とした 12 海岸線の解析結果を表-3.4.3 に示す.

表-3.4.3 海岸線の解析結果

フラクタル次元を求めるデータ		長崎半島	西彼杵半島	東松浦半島	国東半島
地形図情報		1.14	1.20	1.19	1.08
衛星 数値 データ	LANDSAT/MSS	1.14	1.18	1.17	1.09
	LANDSAT/TM	1.17	1.21	1.19	1.08
	SPOT/HRV	-	-	-	-
	2つの衛星数値データの併用	1.16	1.20	1.18	1.08
地形図と衛星数値データの併用		1.16	1.20	1.18	1.08
フラクタル次元を求めるデータ		大村湾	九十九島周辺	有明海	津久見市周辺
地形図情報		1.21	1.25	1.07	1.18
衛星 数値 データ	LANDSAT/MSS	1.19	1.23	1.06	1.19
	LANDSAT/TM	1.20	1.20	1.07	1.18
	SPOT/HRV	-	-	-	-
	2つの衛星数値データの併用	1.20	1.22	1.07	1.18
地形図と衛星数値データの併用		1.20	1.22	1.07	1.18
フラクタル次元を求めるデータ		平戸島	生月島	福岡市周辺	糸島半島
地形図情報		1.17	1.13	1.14	1.10
衛星 数値 データ	LANDSAT/MSS	1.17	1.12	1.14	1.10
	LANDSAT/TM	1.16	1.15	1.12	1.10
	SPOT/HRV	-	-	1.12	1.10
	2つの衛星数値データの併用	1.16	1.14	1.13	1.11
地形図と衛星数値データの併用		1.16	1.14	1.13	1.11

①長崎半島のフラクタル次元は, LANDSAT/MSS データが  $d=1.14$ , LANDSAT/TM データでは  $d=1.17$  であった. LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データのフラクタル次元を比べると  $\Delta d=0.03$  の差が生じた. 両人工衛星データ画像 (画像-3.4.3) から分かる範囲では海岸線に大きな変化は見られず, 結果だけ見ると LANDSAT/TM データの方が複雑であることになる. 画像自体には大きな変化がないが, LANDSAT/MSS データの観測日は 1979 年 8 月 (昭和 54 年) であり, LANDSAT/TM データは 1992 年 9 月 (平成 4 年) と季節は概ね一致するが画像取得年が大きく異なる. 2つの画像の間に 13 年間の時間経過がある. したがって, この間において長崎半島全体で海岸線の護岸改修や海岸線の埋め立てなど地形改変が



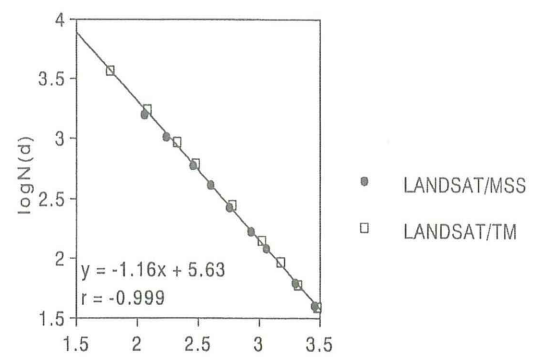
(a)

(b)

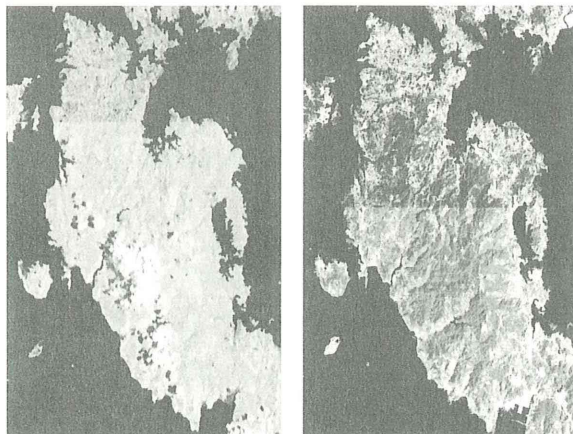
(a)LANDSAT/MSS(1979/8/8 観測)

(b)LANDSAT/TMS(1992/9/17 観測)

画像・3.4.3 長崎半島の画像



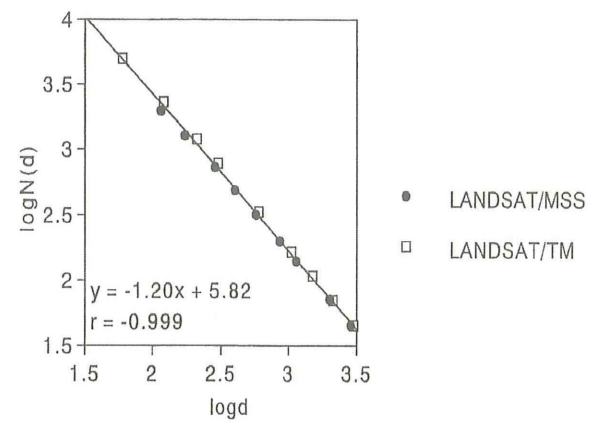
図・3.4.4 長崎半島の( $\log d \sim \log N(d)$ )の関係



(a)LANDSAT/MSS(1979. 8. 8 観測)

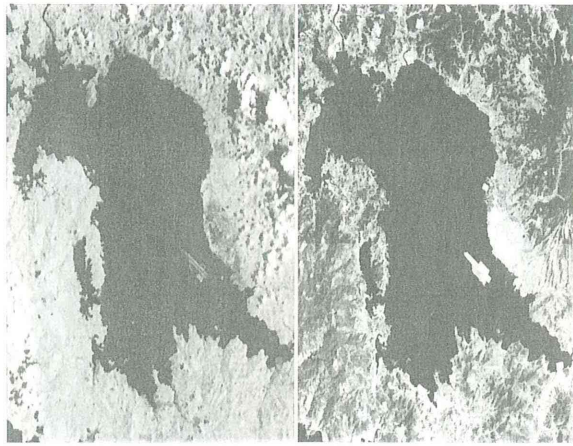
(b)LANDSAT/TM(1992. 9. 17 観測)

画像・3.4.4 西彼杵半島の画像



図・3.4.5 西彼杵半島の

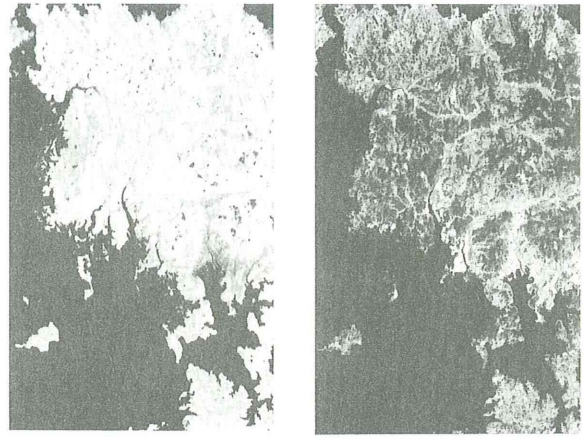
( $\log d \sim \log N(d)$ )の関係



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.5 大村湾の画像



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.6 九十九島周辺の画像

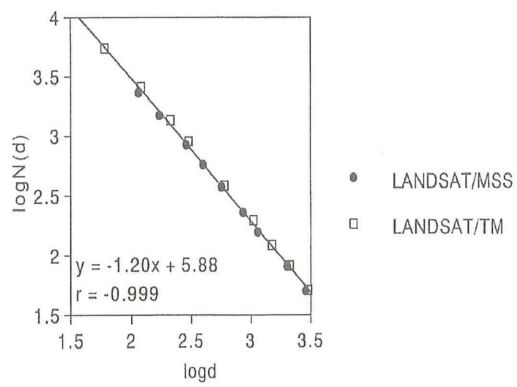


図-3.4.6 大村湾の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

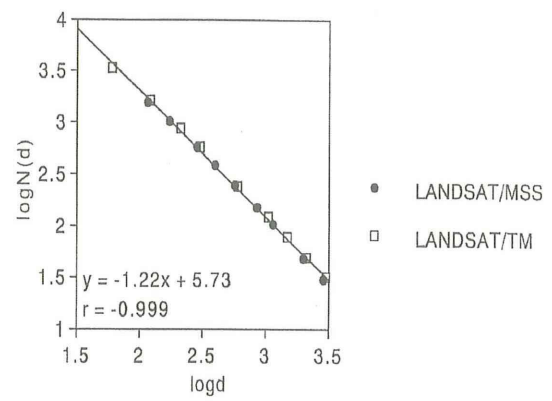
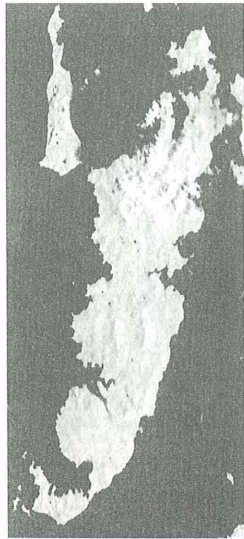
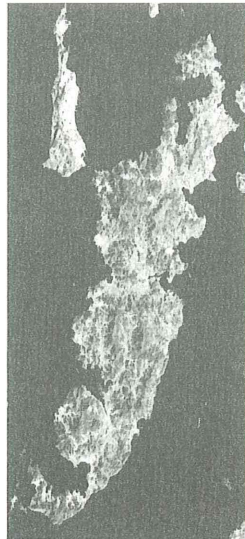


図-3.4.7 九十九島周辺の  
 $(\log d \sim \log N(d))$  の関係



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

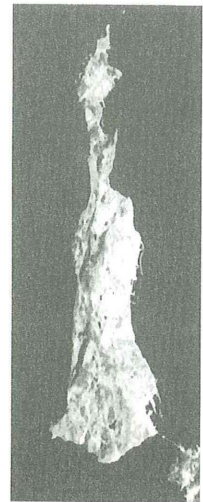


(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.7 平戸島の画像



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.8 生月島の画像

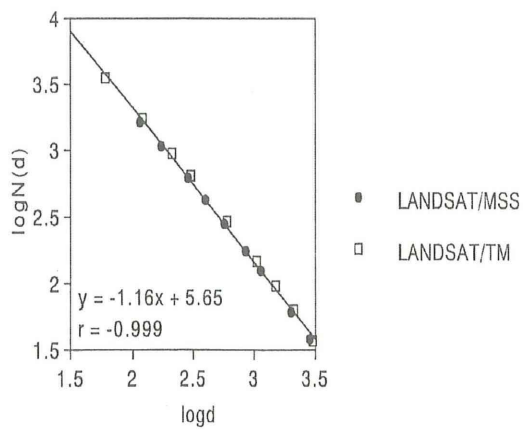


図-3.4.8 平戸島の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係

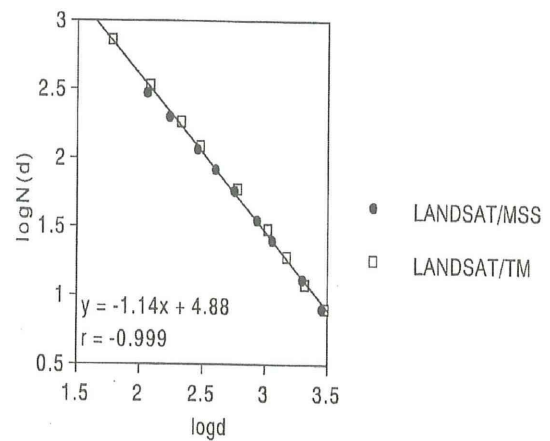
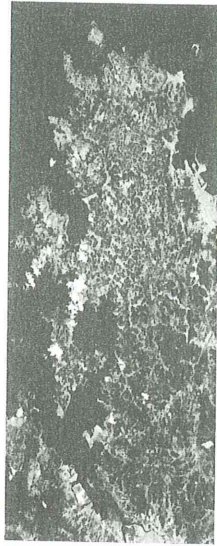


図-3.4.9 生月島の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



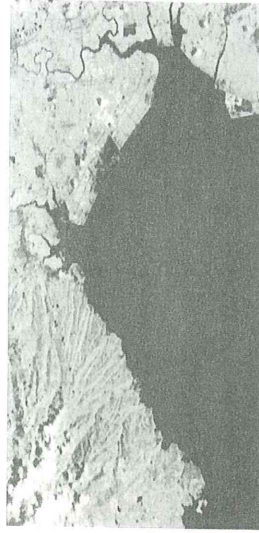


(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)

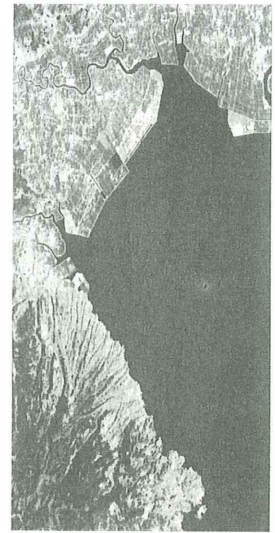


(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.9 東松浦半島の画像



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)

画像-3.4.10 有明海の画像

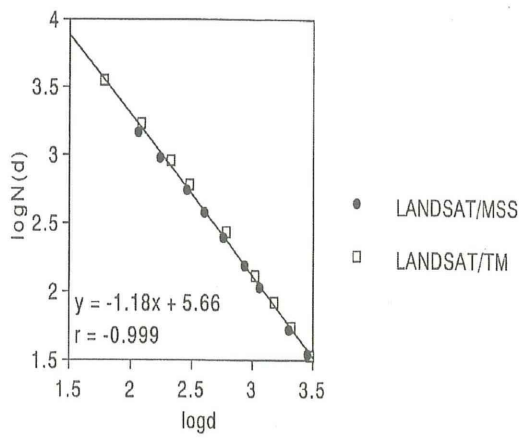


図-3.4.10 東松浦半島の  
( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係

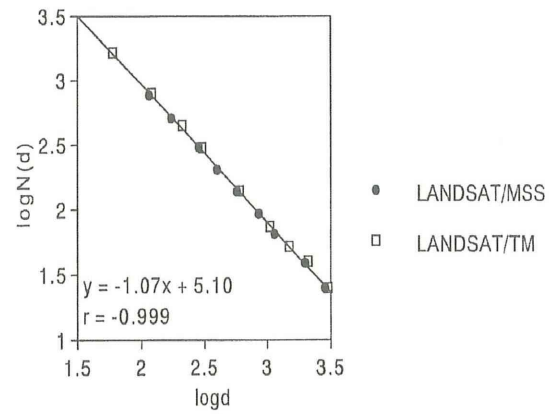
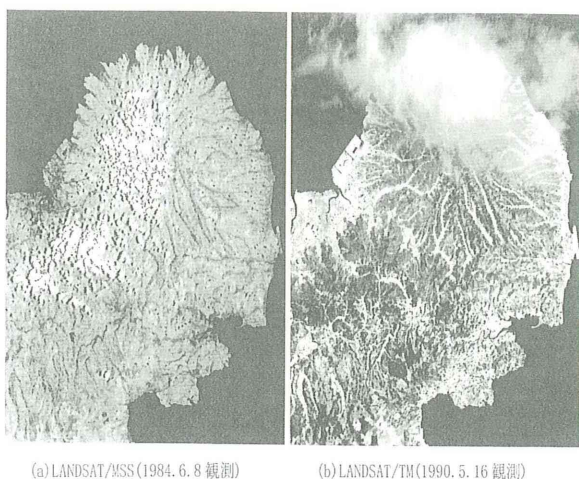


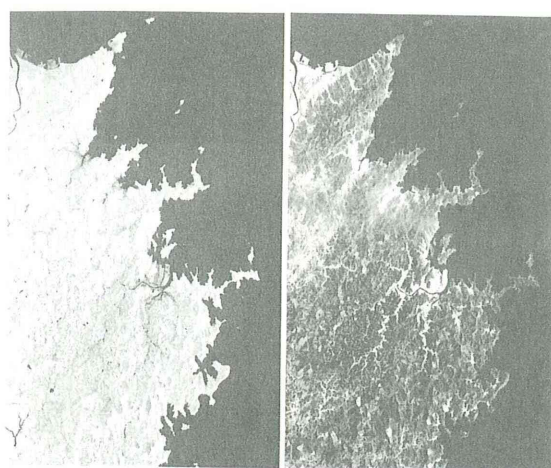
図-3.4.11 有明海の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



(a) LANDSAT/MSS (1984. 6. 8 観測)

(b) LANDSAT/TM (1990. 5. 16 観測)

画像-3.4.11 国東半島の画像



(a) LANDSAT/MSS (1984. 6. 8 観測)

(b) LANDSAT/TM (1990. 5. 16 観測)

画像-3.4.12 津久見市周辺の画像

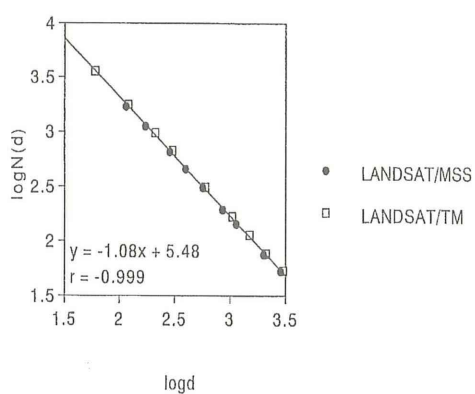


図-3.4.12 国東半島の

( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係

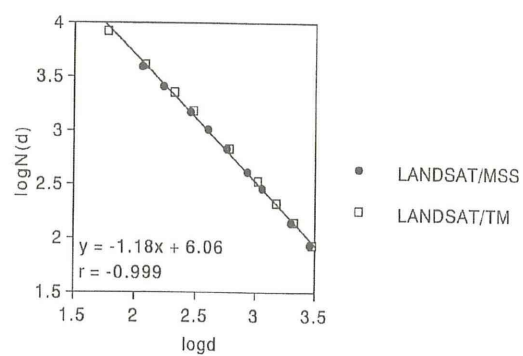
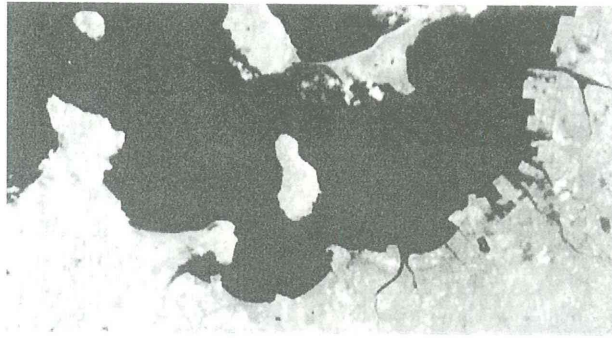
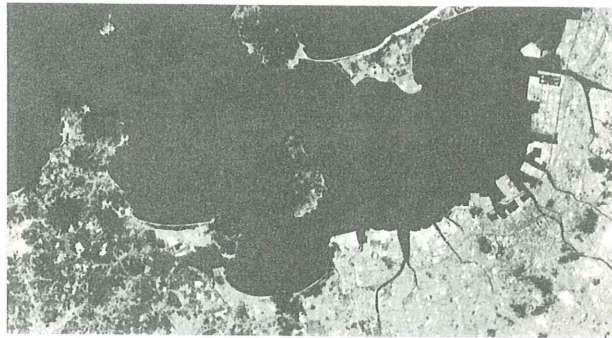


図-3.4.13 津久見市周辺

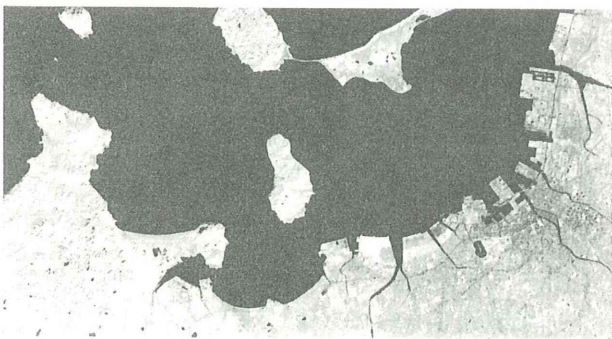
の ( $\log d \sim \log N(d)$ ) の関係



(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)



(c) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

画像-3.4.13 福岡市周辺の画像

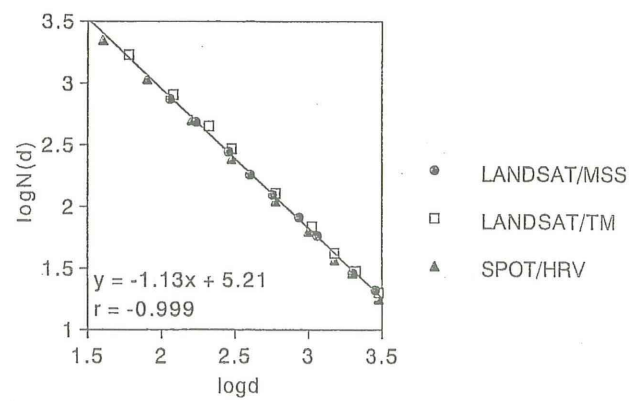
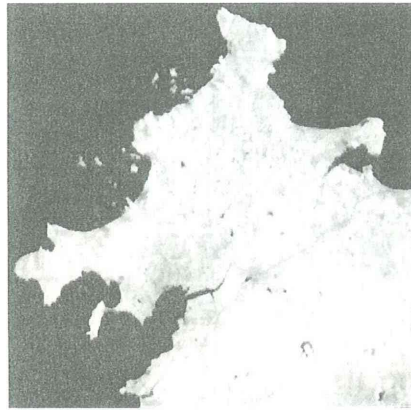
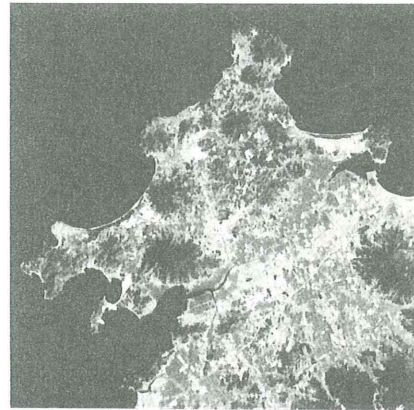


図-3.4.14 福岡市周辺の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

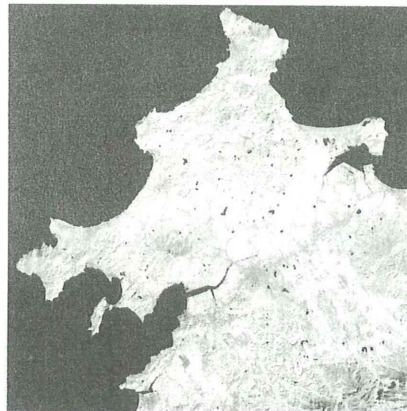




(a) LANDSAT/MSS (1979. 8. 8 観測)



(b) LANDSAT/TM (1992. 9. 17 観測)



(c) SPOT/HRV (1986. 8. 20 観測)

画像-3.4.14 糸島半島周辺の画像

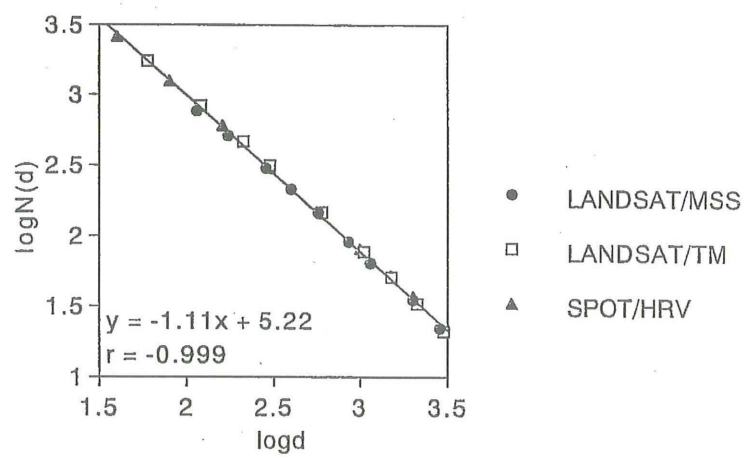


図-3.4.15 糸島半島周辺の  $(\log d \sim \log N(d))$  の関係

考えられるが、目視で判別できるほどの規模ではないといえる。海岸護岸の改修や埋め立てなどの土木工事では、局部的には直線化が採用されることが多いが、それらの変化が積み重なって全体としては凹凸が増えたのではないかと考えられる。一部分が埋め立てなどで凹凸が大きくなり、全体のフラクタル次元に影響し、フラクタル次元の増加へとつながったと考えられる。それ以外として解像度の違いも考えられるが、解像度の高い画像（LANDSAT/TM データ）が全て高いフラクタル次元を得ているわけではない。長崎半島は、長崎変成岩類と呼ばれる結晶片岩で構成され、野母半島の道路沿いの斜面では降雨時期になると地山の崩壊がよく見られ、地形変化が顕著に現れる地質的背景があげられる。

河川線形の解析と同様に 2 つの人工衛星データを組み合わせて、長崎半島のフラクタル次元を求めた。その結果をプロットしたものが図-3.4.4 である。長崎半島のフラクタル次元は  $d=1.16$  となり、LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データから求めたそれぞれのフラクタル次元の中間的な値を得た。解像度の違いのみでなく、13 年間に行われた地形改変の影響も十分に考えられる。従って、解析誤差と考えると、LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データの 2 つのデータを組み合わせて求めた  $d=1.16$  という値は妥当な値であることになる。相関係数は  $\gamma=0.999$  と 1 に非常に近く、LANDSAT/MSS データ及び LANDSAT/TM データからはともに  $\gamma=-1.000$  と高い相関性を示しており、フラクタル構造を有していると言える。

②画像-3.4.4 に示す西彼杵半島の大村湾側は、複雑に入り組んでいるが、<sup>すもうなだ</sup>角力灘側にあたる<sup>さきと</sup>崎戸、<sup>そとめ</sup>大島、<sup>そとめ</sup>外海等は緩い円弧状を呈し比較的単純で滑らかな海岸線形に見える。

③画像-3.4.5 に示す大村湾は、東側にあたる<sup>はいき</sup>早岐、大村等では比較的滑らかな海岸線を示している。当然のことながら、西側の海岸線は西彼杵半島の東側の海岸線に一致する。LANDSAT/MSS データによるフラクタル次元( $d$ )は、西彼杵半島が  $d=1.18$ 、大村湾が  $d=1.19$  である。LANDSAT/TM データではそれぞれ  $d=1.21$  と  $d=1.20$  を得た。図-3.4.5 と図-3.4.6 に示すように、2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は、西彼杵半島と大村湾共に  $d=1.20$  である。西彼杵半島と大村湾は接しあう陸域と海域であり、お互いの境界線は同一視されるものであることから、西彼杵半島と大村湾のフラクタル次元は似た値が得られている。地質的に見ると、西彼杵半島は西彼杵変成岩類と呼ばれる結晶片岩を主体とし、大村湾を挟んだ対岸は、火山岩や堆積岩からなっており、地質構造が異なることから海岸線の複雑を呈していると考えられる。これらの画像も、LANDSAT/MSS データの観測日が 1979 年 8 月（昭和 54 年）で、LANDSAT/TM データが 1992 年 9 月（平成 4 年）と、2 つの画像の間に 13 年間の時間経過があるが、フラクタル次元に差は見られない。この間の変化としてはハウステンボスの開園があげられる。

④九十九島周辺は大小の小島からなっており、複雑な海岸線を有している（画像-3.4.6）。LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.23$  と  $d=1.20$  であり、図-3.4.7 に示すように 2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.22$  となった。これは海岸線を連続した一本の線として解析したもので、平面的な複雑さは現れず、予想したフラクタル次元よりも小さいフラクタル次元であった。これらの画像も LANDSAT/MSS データの観測日が 1979 年 8 月（昭和 54 年）、LANDSAT/TM データが 1992 年 9 月（平成 4 年）と撮影時期の間に 13 年間の時間経過があるが、海岸線を改変するような社会現象は起こっていない。

⑤平戸島の LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.17$  と  $d=1.16$  であり、図-3.4.8 に示すように 2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.16$  となった。（画像-3.4.7）

⑥生月島の LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.12$  と  $d=1.15$  であり、図-3.4.9 に示すように 2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.14$  となった。（画像-3.4.8）

平戸島及び生月島は島の大きさは異なるが、近接した位置関係にあり火山岩を基盤とした生い立ちであることから、フラクタル次元も似たような値であった。

⑦佐賀県の東松浦半島のフラクタル次元は、LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データがそれぞれ  $d=1.17$  と  $d=1.19$  である。図-3.4.10 に示す様に、2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.18$  となった。玄武岩を基盤とした台地を形成しており、海岸線は玄武岩による柱状節理が発達した海岸線とそれが侵食を受け、九州北部の海岸線の中では複雑な方であった。（画像-3.4.9）

⑧画像-3.4.10 に示す有明海は、有明海でも奥部にあたる佐賀県から長崎県にかかる部分で、佐賀平野の前面に沖積の干潟を有した全体に単調な海岸線である。その結果、有明海のフラクタル次元は、解析した海岸線の中で最も小さく、LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.06$  と  $d=1.07$  である。図-3.4.11 に示す様に、2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.07$  となった。この結果からも単調な海岸線であることが分かる。

⑨画像-3.4.11 に示す大分県の国東半島は滑らかな曲線を有する海岸である。フラクタル次元は小さい値であった。LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.09$  と  $d=1.08$  である。図-3.4.12 に示す様に、2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は、 $d=1.08$  となった。

⑩画像-3.4.12 に示す津久見市周辺は、リアス式海岸のように複雑に入り組んでいるのが分かる。LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データによるフラクタル次元は、それぞれ  $d=1.19$  と  $d=1.18$  である。図-3.4.13 に示す様に、2 つの人工衛星データを併用した場合の次元は  $d=1.18$  となった。当初フラクタル次元は  $d=1.3$  程度と予想して

いたが、実際は  $d=1.18$  であり、それほど大きな値は得られなかった。表-3.4.4 を見ても分かるように、地形図情報を利用して得たフラクタル次元と人工衛星データ (LANDSAT/TM) の結果を比べると、同値か違っても  $\Delta d=0.01$  の差であり、人工衛星データのフラクタル次元への適用が十分有効であることが判った。

福岡県の海岸線として対象としたのは、福岡市周辺部 (福岡湾内) の海岸と糸島半島である。使用した人工衛星データは LANDSAT/MSS データと LANDSAT/TM データ及び SPOT/HRV データの 3 種類であるが、撮影季節は概ね同じ時期であるものの、それぞれ撮影年が異なる。LANDSAT/MSS データが 1979 年 8 月 8 日 (昭和 54 年)、LANDSAT/TM データが 1992 年 9 月 17 日 (平成 4 年)、SPOT/HRV データ 1986 年 8 月 20 日 (昭和 61 年) である。

⑪福岡市周辺 (福岡湾内) と糸島半島を撮影した LANDSAT/MSS 画像、LANDSAT/TM 画像および SPOT/HRV 画像をそれぞれ画像-3.4.13 と画像-3.4.14 に掲載し、表-3.4.3 にフラクタル次元解析結果を示す。

福岡市周辺 (福岡湾内) のフラクタル次元は、LANDSAT/MSS データが  $d=1.14$ 、LANDSAT/TM データが  $d=1.12$ 、SPOT/HRV データが  $d=1.12$  であった。解析画像の撮影時期が異なり、新旧の画像間で 13 年間を経ており、この間で海岸線は変貌していると想像される。各人工衛星データ間で一番古い時期 (昭和 54 年) の LANDSAT/MSS データが  $d=1.14$  と一番高く、LANDSAT/TM データ (平成 4 年撮影) と SPOT/HRV データ (昭和 61 年撮影) は  $d=1.12$  と同値であり、少し低い値となった。解像度の異なる画像であるが、解像度の低い画像のフラクタル次元が高く、解像度の高いフラクタル次元が相対的に低い値を出している。この点に着目すると、海岸線は複雑さを若干失ったことを示しているとも考えられる。事実、昭和から平成にかけて福岡市は日本中で一番経済活動が活発な地域であり、ビル建設のみならず、都市高速道路の延伸やそれに併せた埋め立て等、土木事業が盛んに行われていた時期である。

⑫糸島半島のフラクタル次元は、LANDSAT/MSS データ、LANDSAT/TM データ、SPOT/HRV データといずれの人工衛星データにおいても  $d=1.10$  となった。画像の撮影時期は福岡市周辺の画像と同じである (画像-3.4.14)。画像の解像度は異なるが、糸島半島ではこの 13 年間において、地形は変化せず海岸線を改修するような事業はなかったことを意味する。

福岡市周辺および糸島半島の測定結果をそれぞれ図-3.4.14 と図-3.4.15 に示す。図-3.4.14 にかから判る様に、福岡市周辺のフラクタル次元は  $d=1.13$ 、図-3.4.15 より糸島半島のフラクタル次元は  $d=1.11$  である。相関係数も、福岡市周辺が  $\gamma=-0.999$ 、糸島半島は  $\gamma=-0.999$  と高く、フラクタル構造を有していると言える。長崎県、佐賀県およ

び大分県の海岸線と同様に、個別の人工衛星データから求めた値と非常に近く、複数の人工衛星データを組み合わせることは可能である。従来方法である地図情報データから求めたフラクタル次元を表-3.4.3に示す。比較のために人工衛星データを組み合わせて求めたフラクタル次元を付記している。表-3.4.3より、福岡市周辺のフラクタル次元は  $d=1.14$ 、糸島半島は  $d=1.10$  であり、人工衛星データから求めた値と近く、同様の結果が得られた。しかし、フラクタル次元に  $\Delta d=0.03$  程度の差が生じている海岸線もある。先にも述べたが、3.2節の河川線形の時より両データの値に差が開いたのは、トレースによる誤差以外に、海岸線に埋め立てや護岸整備等により変化があったことが影響しているのではないかと考えられる。フラクタル次元が  $d=1$  に近いような時点以降において、埋め立てなどの工事による地形改変が行われ、海岸線が凹凸化すると、フラクタル次元は大きくなると考えられる。逆に、凹凸が多くある海岸線を直線的に埋めてしまうとフラクタル次元は小さくなる。3.2節で述べたように、人工衛星データから求まるフラクタル次元は、人工衛星データの種類によって大きく変わらないので、海岸線自体に変化が生じていたと考えられる。また、求めたフラクタル次元は、大きいもので  $d=1.23$ 、小さいもので  $d=1.06$  である。一般に、天然の海岸線のフラクタル次元は、 $d=1.1 \sim d=1.4$  程度である<sup>10)</sup>と言われており、それほど複雑な海岸線でないことが言える。複雑そうに見える九十九島周辺および津久見市周辺の海岸線は、 $d=1.3$  程度のフラクタル次元を予想していたが、 $d=1.2 \sim d=1.25$  と若干小さかった。西彼杵半島と大村湾は、対象としている海岸線が一部重なっているため、同じようなフラクタル次元が得られている。また、2種類の人工衛星データを組み合わせて求めた結果は、LANDSAT/MSS データおよび LANDSAT/TM データから求めたフラクタル次元の間に位置し、それぞれ似た値であった。

表-3.4.3に示した長崎半島の解析結果を比べると、地図情報データから求めたフラクタル次元は  $d=1.14$ 、人工衛星データの組み合わせから求めたフラクタル次元は  $d=1.16$  となり、人工衛星データの方が僅かに高いフラクタル次元となったが、概ね近い値であった。その他の海岸線に関しても同様の比較を行ったが、長崎半島が  $\Delta d=0.02$  と一番大きく、他は  $\Delta d=0.0 \sim \Delta d=0.01$  の範囲であり、地図情報データと人工衛星データには大きな差はなかったといえる。

この様に、LANDSAT/MSS データ及び LANDSAT/TM データの2つの異なるデータから求めたフラクタル次元と、2つのデータを組み合わせたフラクタル次元は、従来の方法の地図情報データからのフラクタル次元に近い。このことから、海岸線の線形のフラクタル次元を求める際に人工衛星データを用いることは有効であると言える。

## (2) 海岸形状のフラクタル次元のまとめ

世界および九州北部の海岸線を解析した結果、海岸線のフラクタル次元は、直線の理論的なフラクタル次元である  $d=1$  に近かった。複雑そうに見えるノルウェーのフィヨルドなどの海岸線は  $d=1.30$  程度である。これは九州北部の海岸においても、人工衛星データおよび地図情報データを用いてフラクタル次元を求めた結果 ( $d=1.20 \sim d=1.25$ ) と似たフラクタル次元が得られている。このことから、河川線形の場合と異なり、北部九州の海岸線は、世界の海岸線と比較しても複雑さは劣らないといえる。海面の上昇もしくは下降によっても海岸線の形状は変化するだろうが、主なものはその海岸線の地質に関係してくると考えられる。地質の違いは、波浪他による浸食・風化度に影響する。その度合いが大きければ形状の複雑さは増し、フラクタル次元の増加につながると考えられる。浸食・風化が起こらなければ、単純な形状のままであり、フラクタル次元の増加は小さい。また、海岸線の形状が最も変化しやすい原因は、埋立てと考えられる。直線的な海岸線を埋立てにより凹凸にすると形状は複雑になり、フラクタル次元が増加する。逆に凹凸が激しい海岸線を直線のように埋め立てると、フラクタル次元が減少する。

それぞれの人工衛星データもしくは、複数の人工衛星データを組み合わせたフラクタル次元ともに、従来の方法である地図情報データから求めた値に非常に近く、人工衛星データを用いてフラクタル次元を求めることが有効であることが検証された。河川の場合と異なり、ボックスの大きさを変えても海岸線がはっきり判別できるので、線形の抽出作業時にも便利である。また、広範囲の対象を解析する場合、地図情報データによる解析では何枚かの地形図を組み合わせる必要がある。それに比べて、人工衛星データは広範囲の地域を観測しているため、広範囲の海岸線の解析が一度のシーンで行える。人工衛星データを用いれば、形状の変化についてもリアルタイムで判別することができる。

### 3. 5 まとめ

本章では、開発などにより改変される地形の自然喪失度や環境保全で対策された人工リーフなどの効果を評価する手法について、人工衛星データの容易な入手性と正方形メッシュデータの利点から、フラクタル次元測定の迅速性に着目し、線形の複雑度の変化による地形改変の経時的なモニタリング手法の確立を試みた。

本研究により得られた成果をまとめれば、以下のとおりである。

- ① 人工衛星データは、元来正方形のメッシュデータであるために、ボックスカウンティング法を用いたフラクタル次元の測定が容易かつ迅速にできる点から有利である。
- ② 広範囲の対象を解析する場合、地図情報データでは、何枚かの地形図を組み合わせる必要があるが、人工衛星データは広範囲の地域を観測しているために、国内の河川であれば一つのシーンで充分カバーできる。
- ③ 地図情報は作成の更新までに時間がかかり、使用する情報が古い場合が多いが、人工衛星データを用いれば、形状の変化についてもリアルタイムで判別することができる。
- ④ 種類の異なる人工衛星データを複数組み合わせても、河川形状や海岸形状のフラクタル次元を測定することができる。
- ⑤ 人工衛星データの解像度の優劣が解析結果に現れるため、より高精度のデータの利用が望ましい。

このように、人工衛星リモートセンシングデータは、河川形状や海岸地形をありのままに捉え、地図情報と違いリアルタイムに情報を得ることが可能である。人工衛星データを用いたフラクタル次元測定は、広範囲を対象に迅速かつ定期的に解析することができる。

ただ、現在の人工衛星データの解像度は、数十mメッシュであり、モニタリング対象の微妙な変化を読みとるには精度が粗い。しかし、解像度の高い人工衛星データ(1m程度)<sup>11)</sup>の利用が可能になったことで、海岸改修や護岸建設にともなう河川域や海岸域等の環境変化を経時的にモニタリングするシステムへの適用が可能であると考ええる。

### 第3章の参考文献

- 1) 日本リモートセンシング研究会 (1992) : 図解リモートセンシング, 日本測量協会, pp. 2～25
- 2) 前出 1) の p. 95
- 3) 辻井達一・飯坂譲二(1986) : 宇宙から見た世界の森林, 共立出版, pp. 14～149
- 4) 前島郁雄・飯坂譲二(1992) : 宇宙から見た世界の地理, 共立出版, pp. 6～125
- 5) チャールズ・シェフィールド (1983) : 宇宙から見た地球文明 MAN ON EARTH, 旺文社, pp. 10～159
- 6) 高安秀樹 (1986) : フラクタル, 朝倉書店, pp. 34～35
- 7) 大野博之・安田実・丹澤純 (1997) : 河川構成要素に見られるフラクタル特性の分析, 環境情報科学, Vol. 26, No. 1, pp68～78
- 8) 前出 3)
- 9) 前出 4)
- 10) 高安秀樹・高安美佐子(1993) : フラクタルって何だろう, ダイヤモンド社, pp. 70～73
- 11) 後藤恵之輔・後藤健介・中村裕昭 (2001) : 高分解能衛星データの地盤工学分野への応用展望, 土と基礎, (社) 地盤工学会, Vol. 49, No. 4, Ser.No. 519, pp. 30～33
- 12) 川内透 (1999) : フラクタル理論及び周波数解析による河川線形と海岸線形の評価, 長崎大学大学院工学研究科 修士論文, 141p.



## 第4章 ゆらぎ指数による地形景観の評価

### 4. 1 地形の変化<sup>1),2),3)</sup>

地形とは、地球表面の起伏形態を意味し、地形を形成しているのが様々な地質である。地質という術語では、地表面の構成物質を指す場合よりは、より深部の岩石の種類や層序を指す場合が多いが、地形と密接な関わりがあることには変わりがない。地形は、ゴルフボールの表面起伏とは異なって、幾何学的にきわめて不規則で複雑な起伏形態をもつ。地形の形態的特徴のうち、定量的に記述できる要素を地形量（高度、距離、斜面傾斜、谷密度）とよび、定量的記述の困難な要素を地形相（斜面型、侵食前線の形状）とよぶ。

地すべり、土石流、火山性噴火などの自然災害を見ても判るように、地形は歴史的に変化する。その地形変化は、任意の地点における高度が変わることであり、地形を構成する岩石や土などの地形（構成）物質が何らかの様式で移動しない限りおこらない。つまり、地形とは地形物質の移動の結果として生じた地表の起伏形態である。地形物質は外力が加わらない限り移動しない。地形物質の移動つまり地形変化をもたらす力、またはその様な能力をもつ自然現象を地形営力と総称し、内的営力と外的営力に分けられる。

内的営力による地形は、地殻変動や火成活動によって、地表面の隆起や沈降、もしくは火山噴火により地形形成に関与してきたものである。一方、外的営力による地形は、地球上の降水や気温分布に大きな影響を与えながら剝作用に寄与し、更に重力の影響を受けながら、水や氷を流動させて物質を運搬、堆積して地形形成に寄与している。これらの作用に加え、過去に繰り返された氷期、間氷期において海水面高度を変動させ、侵食基準面の高さを変えてきた。この様に太古から続けられてきた地形の改造・改変は、主に造山運動や風化作用による自然の営力を中心として長い年月をかけてきた。地形面の形態はみかけ上は悠久不変の様に見えるが、時間オーダーを長く取ると、無視できない変化を今も続けている。地殻変動の速度を関東地方について平均すると1年につき0.1 mm～1.3 mmの変動量が観測されている。また地形勾配の増加量は、日本全体の平均では $0.4 \sim 260 \times 10^{-8}$  度/年という、年間にわずか百万分の数度にすぎず、“傾き”はいわばppmオーダーの変化量である。全世界における河川を対象として河流などによる剥離の速さは年間約0.051 mmという極微少な量である。概略的な地形変化の速さを図-4.1.1に示す。これは水平移動量と垂直移動量を年間速度で示したものである。ここに見るように自然現象としての地形変化の速さは、人間の五感では把握できないほど微少な値である。

しかし、現在の自然環境を考える上で、これら自然の営力以外に人的営力が加わり急激な地形変化を生じていることが、生態系をも含めた環境問題に直接関わる課題となっている。

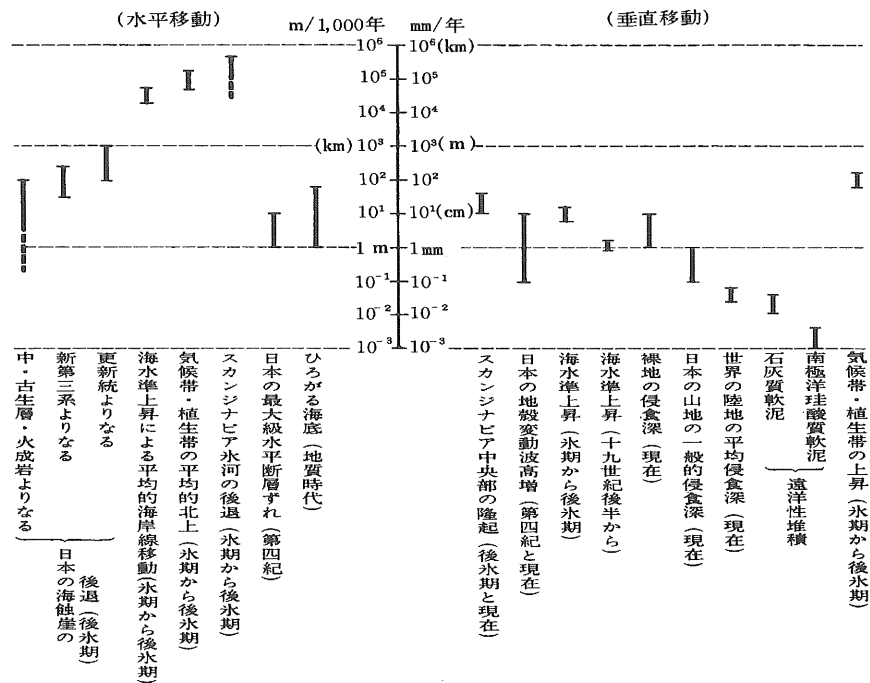


図-4.1.1 地形変化の速さの概観 <sup>4)</sup>

長い年月を経て形成されてきた地形と人類は深い関わりを持ってきた。すなわち、人類が陸を生活の場とすることから、地形に強く制約される居住地の歴史を長く有してきた。そのため古来、人類は以下に示すような生活・生産活動の進展に伴う社会的要請を満たすために、地形を人類活動に好都合なものに改造する建設工事を行ってきた。

- ①人類の活動場を各種の自然災害から守る。(例えば、各種の防災工)
- ②地形障害を克服する。(例えば、山体斜面の切取り、盛土、トンネル、橋梁)
- ③水陸配置を改変する。(例えば、河道改変、ダム、用排水路、運河、港湾工)
- ④地盤を改良する。(例えば、客土、舗装)
- ⑤新たな陸地を造り出す。(例えば、干拓、埋め立て)

前述した様に、自然の営力による地形の改変は極めて緩やかな速度で行われていたが、20 世紀後半における世界人口の爆発的増加と、それに伴う人類活動の加速度的な肥大化によって、建設工事はますます大規模化し、広域化した。そのため、必然的に大規模な地形改変や水域変化などを急激にもたらすようになった。そして現在の地形（自然）の改造・改変活動は、都市開発・山腹の大規模住宅地・ゴルフ場・スーパー林道の開発など、人間の生産活動（破壊活動）にその主役を譲っている。ダム建設における、流域全体および河口から砂浜海岸全域におよぶ、広域的な地形変化はその一例である。そのため、施工中のみならず竣工後にも自然環境の長期的かつ広域的な破壊を誘発し、あるいは構造物自体の破壊や周囲への人災をもたらす例が増加した。特に、日本では、気候、地形、地質、河川、

海岸など全ての地学的特徴に加えて高度の土地利用および経済活動のため、建設工事に関連する諸問題は多種・多様発生しており、かつ深刻である。大規模な建設工事を合理的に行うためには、その計画の立案、設計、施工、維持管理にあたり、広域的な土地条件、とくに地形の生い立ちと成り立ちをよく理解し、また長期的視野にたち、将来の地形変化を予測して、可能な限り自然（特に地形）と調和した建設用地および建設工法を選定すべきである。

この様に開発に伴う地形の改変を上げれば枚挙にいとまがなく、昨今の開発事業により多くの地形は急激に改変されている。このような変化以外にも、日々の生活にとけ込んでいる原風景や国内いたる所で見られる山並みのスカイラインなどは、地域により異なる形状を見せている。盆地地域に見られる多くの小京都と呼ばれる都市の地形景観にも、何らかの共通した特徴があると考えられる。

本研究は、このような地形環境を評価する手法の一つとして、地形固有の特徴を定量化するため、地表面標高から地形断面を作成し、空間周波数解析によりその断面形状がもつゆらぎ指数の違いから、地形を特徴つける地域性の有無を検証した。

#### 4. 2 日本を構成する代表的な地形<sup>5)</sup>

幾重にも重なった緑の山々は、古来から日本人の心のふるさとである。我々が環境について論じるとき、特に地域の比較を行う場合、その地域の位置する場所、地勢、広域景観、地質的背景などを抜きしては語ることはできない。例えば、関東と関西の生活環境の比較をするとき、必ず持ち出されるのは、関東地方の平坦な広い平野と関西地方の変化に富んだ山並み地形への言及である。このような生活環境の中で、多くの人が“ふるさと”といったとき、まずふるさとの山並み、四季のうつろいとその山並みに表される様子、もやや霧、雨でかすむ山影、谷川の瀬音、河川敷での行楽、水遊び、森で鳥の声を聞き、虫を見つける楽しみを思い出すであろう。このような自然環境を構成する要素として、地形・地盤・気候・大気・水・生物などが上げられる。こうした地圏・空圏・水圏から形成される自然環境は、地域環境を決定する重要な基盤である。しかし、20世紀に入りこの国民共通の財産に対して浸食が急速に進んでいることである。すなわち、都市域の膨張のため自然地形が変わる事象が起きている。都市建設に必要な砂利供給場（原石山）により、山ひとつがなくなっている事例は全国いたる所に見られる光景である。もっと顕著な例は、都市近郊の住宅開発にみる斜面利用の拡大である。これらの開発は、地すべりや急傾斜地への安全面の問題をもたらすだけでなく、斜面で守られている自然度の喪失にもつながっている。斜面は、そこに住む人にとってはすばらしい眺望を与える場のみならず、生態系におけるビオトープの役割を果たしている。既に失われたこのような自然や景観は、本来我々の国土に備わった貴重な環境資源で、皆が共有すべき財産である。自然環境は、国土を形成している地形とそれに育まれた生態系との融合である。現代社会は、生活の快適さのみを追求したことにより、これらの貴重な地形が急激に失われているのも事実である。特徴ある日本の地形の中において、自然河川や溪谷、自由蛇行などの河川地形は、もはや大部分の地域ではほぼ消滅してしまっている。平成11年6月に制定された環境影響評価においても重要な地形や地質は影響評価の対象となっている。

日本の地形を育んだ自然環境を写真-4.2.1に示す。このような地形はその形成素因において以下の様に分類される<sup>6)</sup>。

##### I 地殻変動が激しい。

例えば、山地・山脈や断層崖、隆起準平原、海岸段丘、沈降によって生じた盆地や湖沼などが地殻変動によってできた地形である。

##### II 火山活動が盛んである。

例えば、様々なタイプの火山や火口湖・カルデラ湖などの溶岩せき止め湖、地獄噴気、間欠泉、溶岩樹型、風穴・氷穴などが火山と火山現象によって造り出された地形である。

### Ⅲ 降水量の多さを反映して河川による侵食が活発である.

河川の営力や風化・侵食によってできた地形として、峡谷、溪谷、滝と滝壺、ナメと淵、湧泉群、土柱、自然河川、蛇行、三日月湖、川沿いの急崖、河岸段丘、扇状地、自然堤防、後背湿地、落堀、河畔砂丘、干潟などがある.

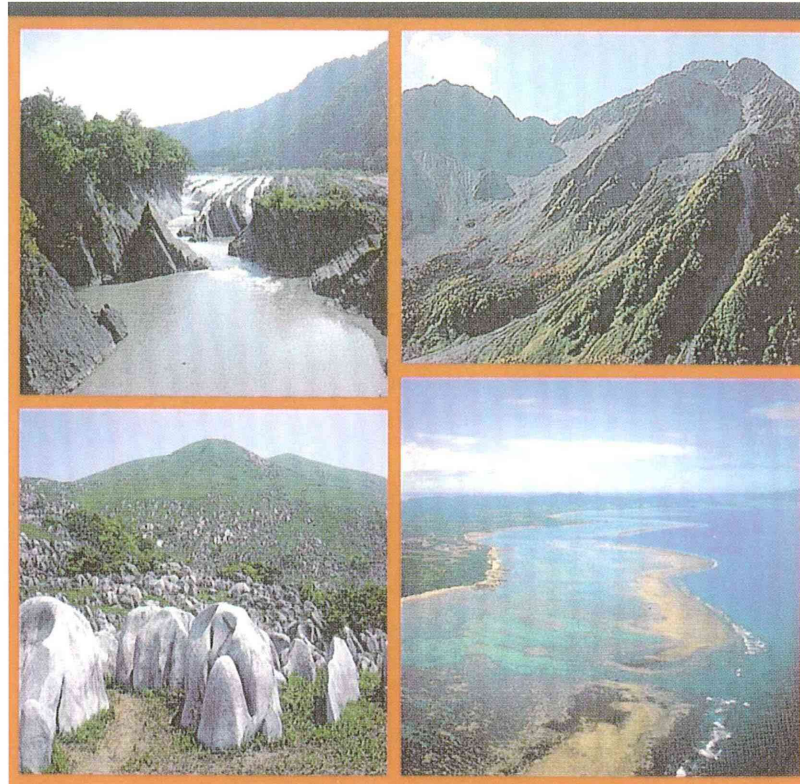


写真-4.2.1 日本の地形<sup>7)</sup>

### Ⅳ 気候変動の地域差が大きい.

日本列島は温帯に位置するが、南北に長い気候の地域差が大きい. また高山には氷河時代の痕跡が強く残されている. この様に気候を反映した地形としては、サンゴ礁、高層湿原、雪食凹地、なだれ地形などがある.

### Ⅴ 四方を海に囲まれた環境である.

周囲を海に囲まれているため波浪などによる侵食も活発である. また氷河時代以降の海面上昇の影響を強く受けている. そのため、海岸部に見られる地形としては、リアス式海岸、多島海、波食棚、海食台、海食洞、海食崖、洞窟、砂丘、海跡湖などがある.

### Ⅵ 複雑な地質で形成されている.

厚い段丘礫層や断層露頭や不整合露頭、カルスト地形、鍾乳洞、柱状節理、板状節理、地すべり地形など複雑な地質構造を有する.  
などである.

この様に日本全土に様々な地形が分布しており、これらが複合して日本という国土ができあがっているのが判る。

人工的に地形を改変したことにより、僅かの年月が経過しただけで、本来の姿がどのようなものであったかを知る事が出来なくなっている。例えば、ダムや砂防ダムがない河川は、どのように流れ、どのように砂礫を運び、そこにどのように生物が生息するか、等といった点を知る上で自然の河川を持つ意味はきわめて貴重である。河川は、源流から河口にいたるまで様々な地形を携えて流下している。また流域に存在する生態系との融合といった点に着目しても、サケやマスの遡上、それを食べるヒグマやシマフクロウなどの生態、さらにはサケやマスの死亡による河川上流域へのカルシウム分の環流など河川の生態系全体への影響を考えてみても、こうした自然河川の存在は重要である。

#### 4. 3 研究地域の特徴<sup>8), 9)</sup>

これまで述べてきたように、改変・破壊が続いている地形に着目して、地形環境を評価する手法の一つとして空間周波数解析により、地形固有の特徴を定量化し、地形を特徴つける地域性を検証した。

対象とした地形は長崎県内の島々である。

九州島は、日本列島を構成する四つの大島のなかでもっとも南西にあり、西南日本弧と琉球弧の会合する場所に位置している。北は壱岐・対馬を介して大陸から南へ大きく張り出した朝鮮半島に臨んでいる。九州島のほぼ中央には“へそ”とも呼べる巨大な阿蘇カルデラが位置する。その南には九州を北東から南西に横切っている九州山地がある。

そのうち長崎県は、九州島の西に位置し、北端の対馬から南端の島原半島や野母半島とは南北約 250km に及ぶ長い県域を有する。その広がり示すように長崎県の地質は堆積岩、火成岩、変成岩と地質構造は複雑・多岐に渡っており、九州最古の岩石である野母変はんれい岩から、日本で最も新しく誕生した平成新山のデイサイトと約 5 億年の長い地史的な断片が寄り集まっている。

海岸線の長さや島嶼の多さから判るように長崎県は国内屈指の海洋県であり、海域には 971 に及ぶ多くの島々が散在する。海岸線の延長は 4, 137 km におよび全国総延長 33, 889 km の 12.2% に当たる長さを誇る。この様に長崎県の自然における最大の特徴は、きわめて複雑な海岸線をもち、海洋性の影響が強い岬と島など、多種多様な海岸の自然景観をもっていることである。これら島嶼の地質は、新第三紀から第四紀にかけてできた火成岩や堆積岩の島々であり、生成時期も地質も異なる。

今回研究対象とした、対馬・壱岐と五島列島の福江島は長崎県内でも最大級の島々 3 島である。これらの島々の地形断面について空間周波数解析からゆらぎ指数を求め、それぞれ固有の地形的特徴を定量的に評価した。

#### 4. 3. 1 解析の手順

前章で述べた様に,”  $1/f$  ゆらぎ” に着目し, 地形的特徴を空間周波数解析による” ゆらぎの種類” にて整理したものである.

解析手順の概略は以下のとおりである.

- ①任意の区間における標高変化から図-4.3.1 に模式する様な地形の地表面形状を作成し, BMP 形式で保存する. 地形断面図は, 国土地理院発行の数値地図の標高データ (50 mメッシュ) を用いて作成する.
- ②地形以外のデータを取り除き,  $512 \times 512$  画素の grayscale として PGM 形式のデータを作成する.
- ③この画像データから離散フーリエ解析により周波数とパワースペクトルを求める.
- ④結果は両対数グラフで表し, 縦軸にパワースペクトル, 横軸に周波数をプロットする.
- ⑤周波数とパワースペクトルの関係からパワースペクトル主成分の傾き (ゆらぎの種類) を求める.

空間周波数解析から求められるゆらぎの種類は, 周波数の逆数 ( $1/f^x$ ) の乗数 ( $x$ ) 値により前出第2章の図-2.4.3 に示す様に分類される.

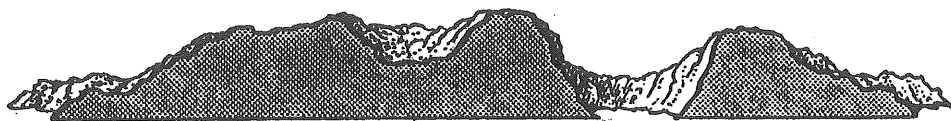


図-4.3.1 地形断面の模式図<sup>10)</sup>



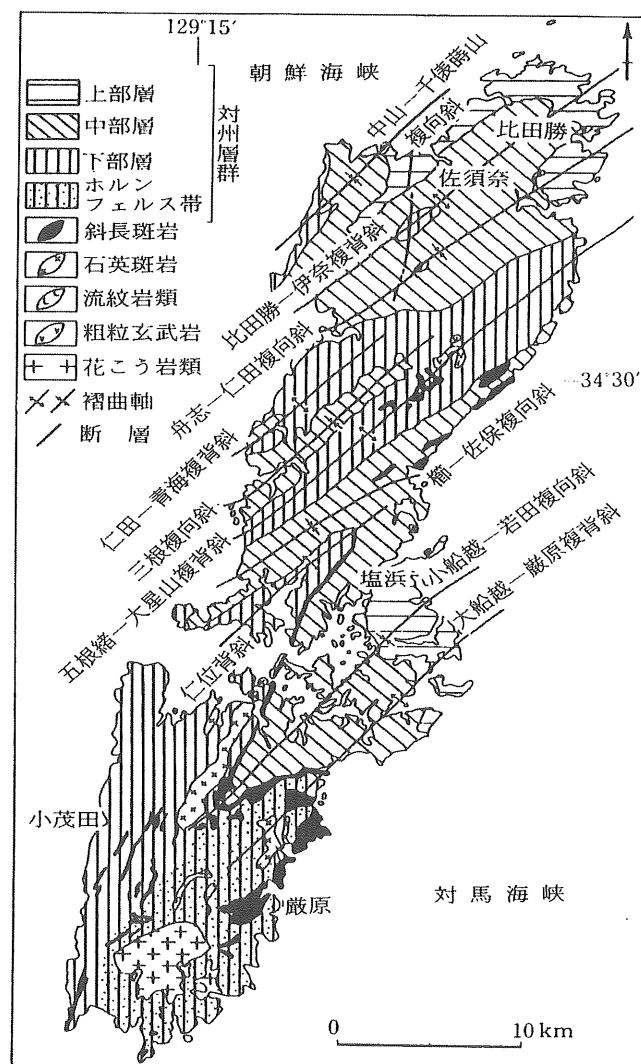
#### 4. 3. 2 対馬

##### (1) 地形と地質

対馬は長崎県最北端の島で、北北東～南南西に細長く延び、南北 82km、東西 18km の幅を持つ。延長 915km の海岸線に沿って溺れ谷やリアス式形態が発達した複雑な沿岸線を有す。対馬の西海岸は、南北性の直線的な断層海岸が断続し、これには顕著な海食崖が発達し、波打ち際には波食台をとまっている。

地質は、全島を構成する古第三紀の非常に厚い対州層群とよばれる砂岩・頁岩の堆積岩と 1600 万年前に貫入した花崗岩や石英斑岩類からなる。山頂には平坦面が見られる。南部は平均高度も高く、火成岩の分布も認められる。対州層群は北北東～南南西方向の軸を持つ大規模な褶曲構造をもつ。リアス形態による細長い湾入と岬が交互に発達する地形の配列方向は、褶曲軸に平行している。対馬の地質図を図-4.3.2 に掲載する。

解析断面は、対馬全体を北緯 1～2 度のメッシュに区分し、その経線での地形横断面図を作成した。解析結果は図-4.3.3 に示す。



対馬地質図および地質構造概略図 (高橋, 1992)

図-4.3.2 対馬の地質図<sup>11)</sup>

## (2) 解析結果

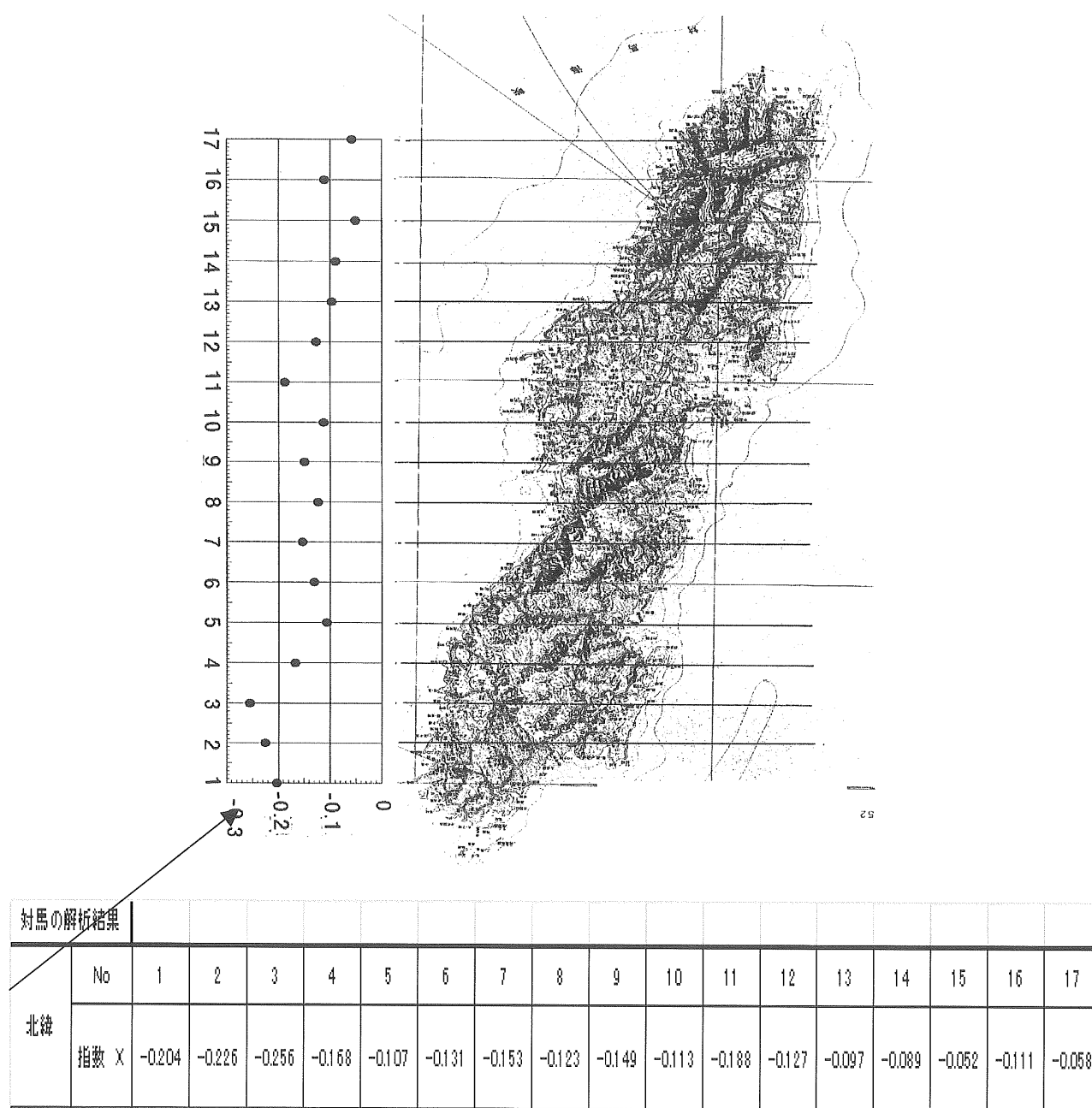


図-4.3.3 対馬の解析断面とその結果

解析結果を見ると、周波数とパワーの間に相関が低いことを示している。ゆらぎ指数は、<sup>あそうわん</sup>浅茅湾の北部に比べて南部の方が低い値 ( $X = -0.1$  以下) となり、地形的な変化を見ると、<sup>いずはら</sup>厳原から南は指数が  $-0.2$  以上であるが、その北側は全体に  $-0.10 \sim -0.15$  と低い値を示している。対馬の地質は、全島に渡って対州層群と呼ばれる古第三紀の堆積岩からなるが、<sup>あそうわん</sup>浅茅湾の南側に当たる<sup>いずはら</sup>厳原では、新第三紀の中新世に対州層群に貫入した深成岩である花崗岩の分布が見られる。そのため、地形的には北部に比べて平坦面が形成されており、解析結果に見られる北部と南部の違いに現れている。

### (1) 地形と地質

壱岐では、本島、属島ともいたるところで、海食崖を巡らして、大部分の場所で玄武岩が露出している。壱岐の地質図を図-4.3.4 に掲載する。

[illegible]

唐岐島地質圖

図・4.3.4 壱岐の地質図<sup>12)</sup>

## (2) 解析結果

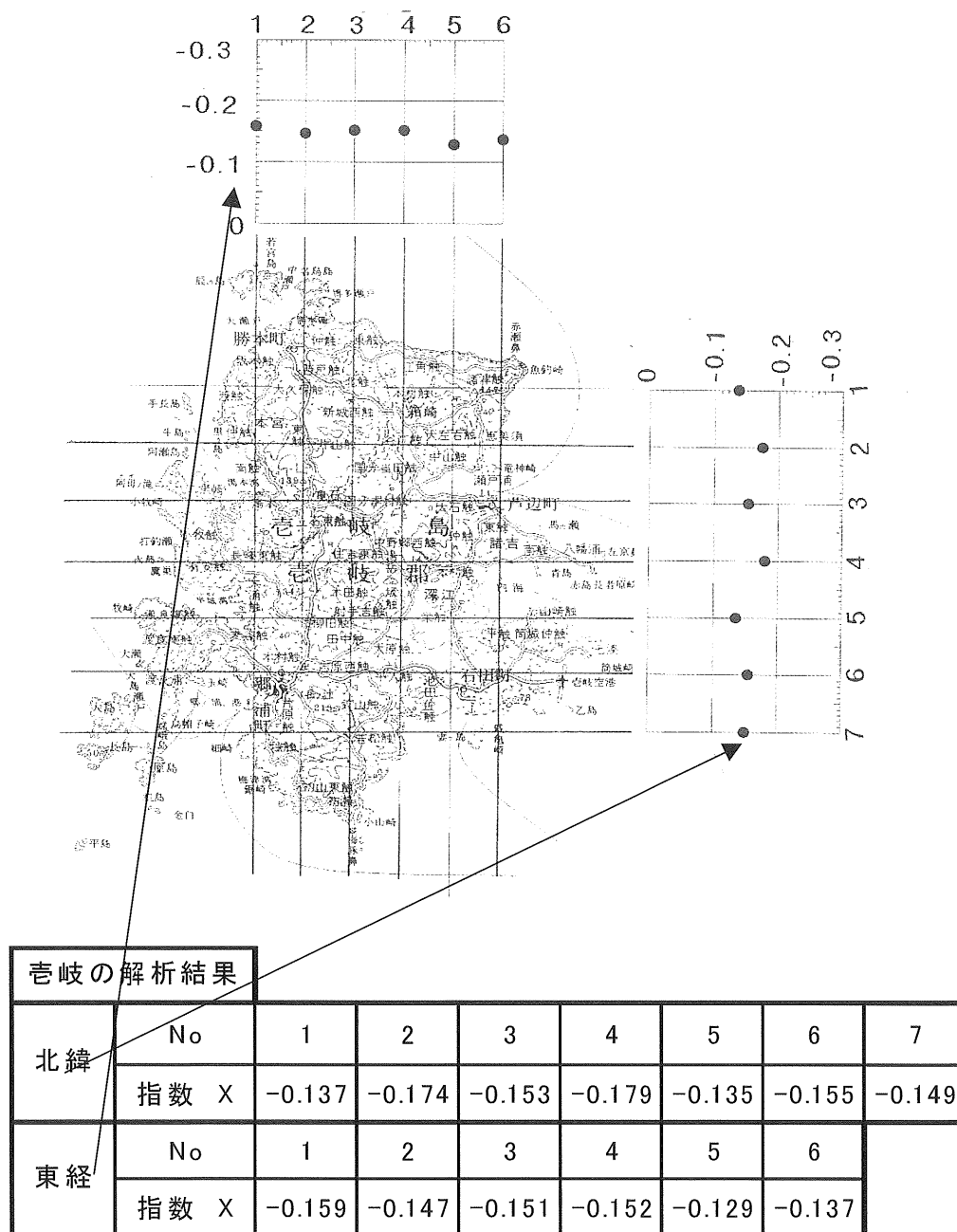


図4.3.5 Iseの解析断面とその結果

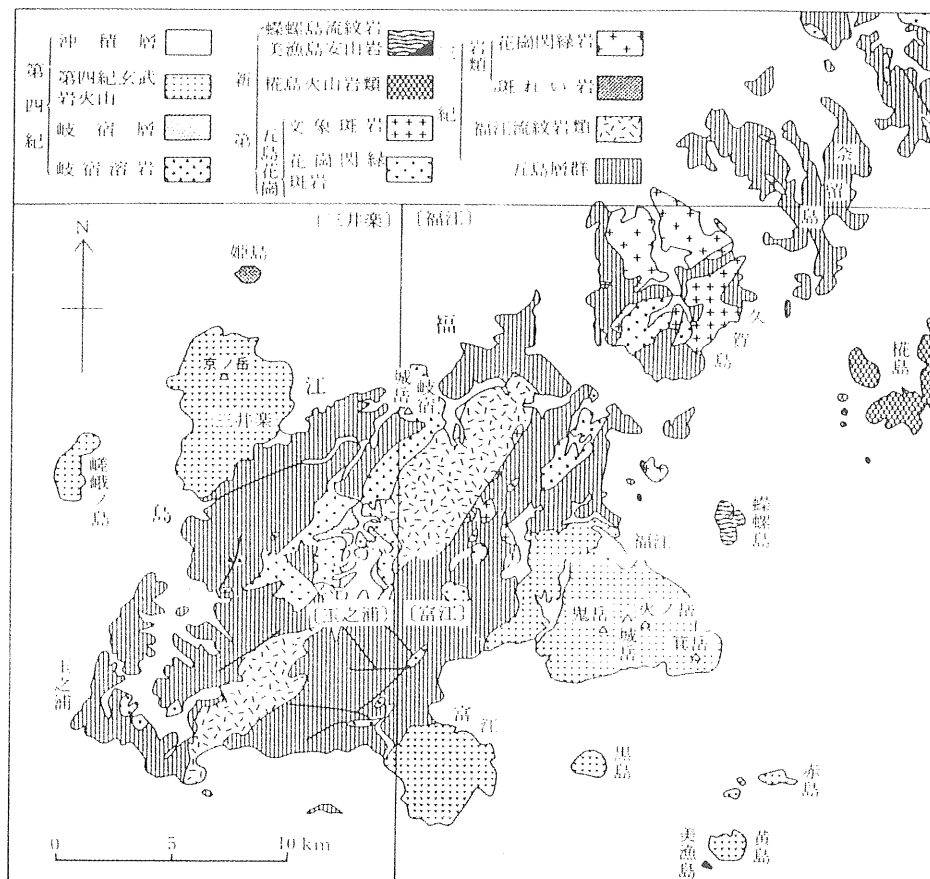
解析結果を見ると、周波数とパワ・の間に相関が低いが、全体にそろった値 ( $X=-0.15$  前後) である。島全体が低い丘陵性の台地で、起伏の少ない（地形的特徴の乏しい）平坦地が大部分を占めており、経度・緯度方向ともにゆらぎ指数の変化が乏しくなっている。

#### 4. 3. 4 福江島

##### (1) 地形と地質

五島列島は、東シナ海の大陸棚の東縁における隆起帯上の「五島山脈」が沈水したものである。福江島は、面積 326Km<sup>2</sup> を有する五島列島最大の島である。海岸線の出入りが激しく、いたる所にリアス式海岸をもつ。内湾では沈水地形がよく保たれているのに対して、外洋に面した岩石海岸では高い海食崖が発達する。その地質は、新第三紀の五島層群とよばれる堆積岩類を島の中央に配し、それへの貫入や被覆する火成岩類とによって構成されている。五島層群は、主として砂岩で構成された地層であるが、泥岩との互層をなす場合も多く、一部には緑色凝灰岩を伴う。福江島の地質図を図-4.3.6 に掲載する

解析断面は各島を東経・北緯各 1～2 度のメッシュに区分し、その経線・緯線での地形縦横断図を作成した。解析結果は図-4.3.7 に示す。



福江島および周辺地域地質図（河田・鎌田・松井，1994）

図-4.3.6 福江島の地質図<sup>13)</sup>

## (2) 解析結果

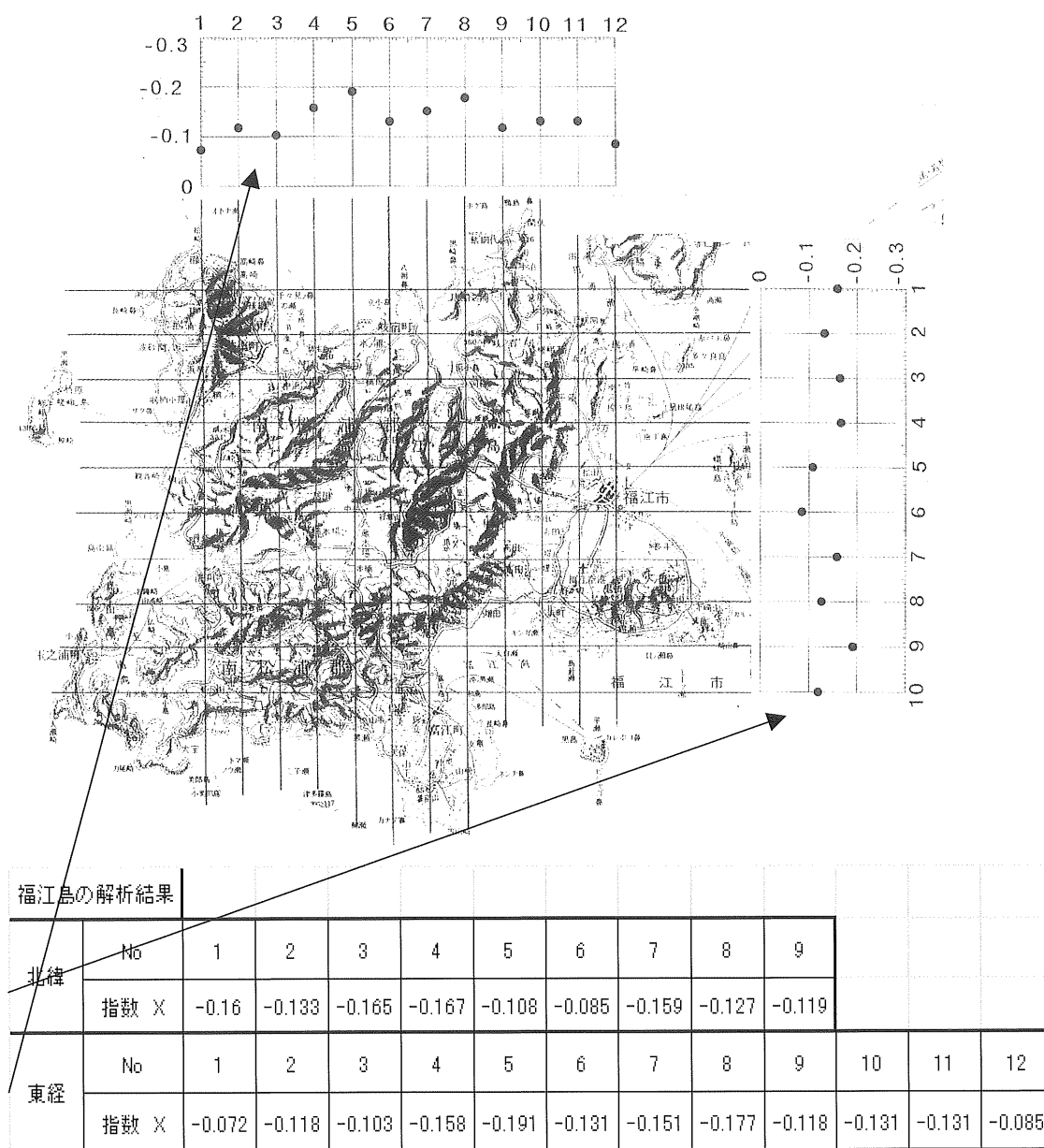


図-4.3.7 福江島の解析断面とその結果

解析結果を見ると、福江島のゆらぎ指数は概ね  $X = -0.1 \sim -0.2$  の範囲に分布し、周波数とパワ・の間に相関が低いことを示している。緯度方向に見た地形断面のゆらぎ指数は、 $-0.108 \sim -0.159$  であり、経度方向の地形断面のゆらぎ指数は  $-0.072 \sim -0.177$  と共に値に大きな違いは見られない。福江島の地質は火成岩と堆積岩からなり、島全体に地質変化が大きく、かつ細かく変化する特徴をもつため、地形の変化も顕著である。複雑な地質変化をそのまま地形も反映しており、その細かな複雑性ゆえに、ゆらぎ指数の分布範囲に大きな違いが見られなかった。

#### 4. 4 まとめ

本研究は、地形環境を評価する手法の一つとして、地形固有の特徴を定量化するため、地表面標高から地形断面を作成し、その断面形状がもつゆらぎ指数の違いから、地形を特徴づける固有の地域性を検証した。

対象とした、対馬、壱岐、福江島、3島の地形が示すゆらぎ指数は、全て  $X = -0.3$  以下であり、周波数とパワースペクトルの間に相関が低い“ゆらぎ”の種類を示している。人の視野を越えた規模である島全体に渡る地形断面は、解析前に予想していた、人に心地よさを与えるゆらぎ ( $1/f$ ) 指数とはかけ離れた値となった。しかし、各島固有の地質の違いがゆらぎ指数に現れていることが判明した。

すなわち、

- i) 対馬の場合、<sup>あそうわん</sup>浅茅湾の北部に比べて南部の方が低い値 ( $X = -0.1$  以下) を示しており、対州層に部分的に貫入した花崗岩による地形の差別化が現れている。
- ii) 壱岐は経度・緯度方向ともに変化が乏しく、平坦で変化の乏しい地形である。ゆらぎ指数は、全体にそろった値 ( $X = -0.15$  前後) で、溶岩台地の地形の特徴が現れている。
- iii) 福江島では緯度・経度方向の断面ともにゆらぎ指数は、似た分布範囲 ( $X = -0.1 \sim -0.2$ ) を示している。これらは島全体に渡り堆積岩や深成岩などが複雑に入り組んだ地質の違いによる地形の特徴を反映していると推測される。

この様に、地形景観を対象にして、地域固有の特徴をゆらぎ指数を用いて定量化することにより、地質を反映した地形の差別化が可能であることが判明した。

空間周波数の解析結果に地形の特徴が反映されていることから、人の視野範囲に見られる山並みや日々の生活にとけ込んでいる原風景を対象として、ゆらぎ指数を用いて地形景観を定量化することにより、遠景域や生活に密着した身近な景観を評価する手法としての利用が考えられる。

#### 第4章の参考文献

- 1) 熊木洋太・鈴木美和子・小原昇 (1997) : 技術者のための地形学入門, 山海堂, pp. 1～10
- 2) 松田磐余 (1989) : 地形に現れた地質, 地質と調査, Vol. 3, pp. 14～20
- 3) 中野尊正・式正英 (1979) : 地形の教室, 古今書院, 224p.
- 4) 福岡義隆 (1997) : 図説環境地理, 古今書院, pp. 92～93
- 5) 西岡秀三・森保文・森口祐一 (1986) : 地形・自然環境場の指標化とその利用, 国立公害研究所研究報告, Vol. 88, pp. 149～165
- 6) 小泉武栄・青木賢人 (2000) : 日本の地形のレッドデータブック, 古今書院, 表紙
- 7) 前述 6) の pp. 1～4
- 8) 鎌田泰彦 (1999) : 長崎県の地盤, 地質と調査, Vol. 3, pp. 45～54
- 9) 長崎県自然保護協会 (2000) : 大地は語る, 長崎県, pp. 131～148
- 10) 武者利光 (1997) : ゆらぎの世界, 講談社, p. 103
- 11) 前述 8) の p. 54
- 12) 石井泰義・鎌田泰彦 (1965) : 壱岐及び対馬の地形と地質, 日本自然保護協会調査報告, No. 19, pp. 29～54
- 13) 前述 8) の p. 52
- 14) 後藤恵之輔・内田篤志・川内透・今村幸祐 (1998) : スペクトル分析による地形の“ゆらぎ”分類, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, IV-37, pp. 74～75
- 15) 奥谷巖・高瀬達夫 (1998) : 景観における空間周波数の概念とその特性, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, IV-60, pp. 647～648
- 16) 奥谷巖・小澤誠 (1998) : 都市空間に対するアルファ波スペクトルとゆらぎの変化特性, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, IV-61, pp. 649～650
- 17) 奥谷巖・野平芳一 (1998) : 町並み景観におけるフラクタル性について, 土木学会第 53 回年次学術講演会概要集, IV-78, pp. 683～684
- 18) 大野博之 (2001) : 21 世紀における景観地質の役割, 応用地質, 第 41 巻, 第 6 号, pp. 383～386
- 19) 古谷勝則 (1998) : 思い出に残る自然風景に関する研究, ランドスケープ, 61 (5), pp. 669～674
- 20) 内嶋善兵衛・勘米良亀齡・田川日出夫・小林茂 (1995) : 日本の自然 九州, 岩波書店, pp. 1～18, pp. 60～66
- 21) 佐々木靖人・脇坂安彦 (2000) : 地形及び地質に関する環境影響評価, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 41, No. 3, pp. 20～23



## 第5章 高速道路でのロードキル発生に関する道路環境の評価

### 5.1 はじめに

モータリゼーションの急速な発達により，道路を横断する多くの小動物に被害が及ぶようになってきた．

道路上に動物の飛び出すおそれがある場合の警戒標識には，図-5.1.1 に示す国連標識の鹿の図柄が採用されている．鹿以外の動物（サル，タヌキ，ウサギ等）が飛び出すおそれがある場合には，適宜その動物の形状を表示する事になっており，図-5.1.2 に示す標識は高速道路のみならず一般道路においてもよく目にする図柄<sup>1)</sup>である．



図-5.1.1 警戒標識<sup>1)</sup>



図-5.1.2 その他の動物の警戒標識<sup>1)</sup>

高規格道路や高速道路は，その利便性や経済性から，日本国中において縦横無尽に張り巡らされ，人々の生活に欠くことができないインフラストラクチャーである．これら都市間を結ぶ道路網は，主に切土や盛土等の土構造物

として施工されており，斜面は掘削され，谷部は嵩上げされている．

このため，生息空間が喪失，分断されており図-5.1.3に示す生態系ピラミッドの消失を招くことになっている．生態系ピラミッドとは，「食物連鎖」と呼ばれる自然界における物質循環とエネルギーの動きを模式化したもので，生産者（植物），消費者（草食動物），高次消費者（肉食動物），分解者（微生物）の関係を示したものである．

図からもわかるように道路建設にともない生物生息空間の分断は，動物の行動範囲を狭め，野生生物の生存環境を破壊するとともに，野生生物が道路を横断しようとして，車に轢かれる死亡事故（ロードキル）に巻き込まれる要因となっている．

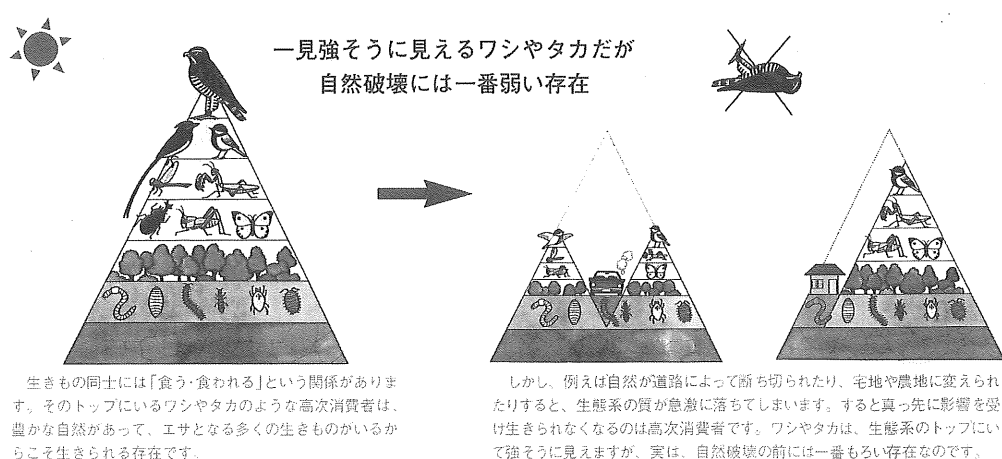


図-5.1.3 生態系ピラミッドの崩壊<sup>2)</sup>

この様に道路建設により，そこに存在している生態系は様々な影響を被り，場合によっては生態系を消滅させることもある．その様な認識から，生き物の生活とその環境を大切にしたい道路づくり（エコロード：Ecological Roadの略）といった考え方が次第に普及してきた．エコロードとは，生き物や自然環境を大切にしたい道づくりのことであり，生き物にやさしい道づくり，また自然にやさしい道づくりのことである．

本研究は，高速道路上のロードキル発生に着目し，ロードキル多発地点と発生が少ない地点の景観に違いがあるのではないかと考え，空間周波数解析により発生地点固有の特徴をゆらぎ指数を用いて検証した．

## 5. 2 道路が自然に与える影響とその範囲<sup>3)</sup>

### 5. 2. 1 道路が自然に与える影響

道路が自然に与える影響の中で最も大きなものとして、道路施設の出現によってもたらされる植物や動物への直接的な被害がある。また、個体や種群へのこうした直接的影響の他に、個々の環境要素を通してもたらされる影響がある。つまり、大気・気象や水環境、土壌等の環境が道路によって変化し、それに依存していた植物や動物が生息できなくなるといった場合である。これらの影響は、時間的経過とともに地域の生態系全体に広がっていき、最終的には、生態系のバランスが崩れる場合もある。

植物への直接的な影響としては、道路建設の際には多かれ少なかれ土地が必要となる。それは建設用地のみでなく、工事用道路や資材置き場等が挙げられる。このような土地に生育していた植物は、道路建設によって、表層の土壌とともに除去されることになる。表層土壌は、生産・分解（浄化）・養分や水分の保持という大きな役目を担っている。1cmの表層土壌が生成されるのに100～数百年という膨大な時間がかかるといわれ、一旦廃棄されると再生できない資源である。

この様に土壌は、生き物や有機物、水、空気、岩石成分を介して生態系を根底から支えており、貴重な遺伝子資源の宝庫でもある。

一方、動物への直接的な影響を考えてみると、

①動物の生活・行動範囲内に道路施設が出現した場合には、生活圏や行動圏が分断された結果、水場や餌場、繁殖の場等に行くことが困難になってしまう可能性がある。

②生息域を分断された動物は、生活を維持するために新たな生息地を求めて移動を余儀なくされるか、あるいは危険を冒して道路の横断を試みることになる。

このようなことから動物が道路を横断する場合には、自動車との衝突事故を起こす可能性が有り、これら動物類は死にいたることも多い。

一般道においても同様であるが、特にいままで道路ではなかった所（丘陵地や山岳地）に造られた高速道路は、周りの環境を一変させ、その変化速度が極端に早いことから、動物の対応が非常に困難となる点である。

この様に道路建設が自然や生態系に与える影響は、空間・時間と多岐に渡り、これまでの環境アセスメントだけでは生態系へのダメージは計り知れないのが現状である。

### (1) 植物への影響範囲

植物に関して言えば，表-5.2.1 の様な自然度の高い自然公園等での報告から，直接的な影響範囲は道路端から数十m程度であることが示されている．

[illegible]

— 98 —

## (2) 動物の移動<sup>5)</sup>

地球上では多種・多様な動物たちが生活しているが、彼らは常に動き回っている（移動している）。

その要因は基本的に、

- ① 餌や水場，居住空間など，より良い生息環境を求めるため．
- ② 求愛，交尾，出産・産卵，育仔など繁殖に関連したもの．
- ③ 成長や生息密度などに関連した独立分散行動をとるため．
- ④ 捕食者からの逃避行動をとるため．

などが考えられる．

これらの要因は，種内や種間での競争を生み，個体群を維持し，発展（あるいは衰退）させ，究極的に進化の原動力にもなっている．

さらに人為的要因として、

- ⑤ 我々人間活動からの逃避行動．

も挙げられる．

これらの要因が複雑に絡み合って、日々の行動や定期（季節）的あるいは不定期的な移動として表れる．日常の行動範囲として、動物は各個体ごとに「行動範囲（home range）」を持っている．この行動圏の大きさや場所は、同一個体でも一定していないが、連続した生息域（habitat）内に存在する．縄張り（territory）と異なり、各個体の行動圏は重なり合い、一定の生息域に複数の個体が生息している．一方、不連続あるいは異質な生息域間の動きを「移動」という．個体群の境界を特定することは非常に困難であるが、一般に地形、微気候、および土壌や餌条件などにより、生息域はパッチ状の不連続な空間として存在する．動物の動きは、日常の行動圏を持つ連続した一つの生息域内が最も頻繁であり、個体相互のつながりも密接である．

ドイツの資料であるが、生き物の生活場所である森林からの移動範囲について図-5.2.1に示す様な報告がある．一方日本では、高速道路での衝突事故から森林と道路までの距離を解析した結果、ノウサギでは林縁から300m、タヌキやイタチでは各々400m以上離れると、衝突は見られなくなるとしている．

この様な事から、森林や樹林から数百mの範囲では動物への影響が考えられる．また森林内では対象動物によって周囲1km程度まで移動する可能性もある．尚、飛翔力が強く、広範囲を生息域とする猛禽類や、季節によって生息域を変える鳥類（夏鳥・冬鳥）、クマ類等の大型ほ乳類については、もっと広い範囲での行動が考えられる．

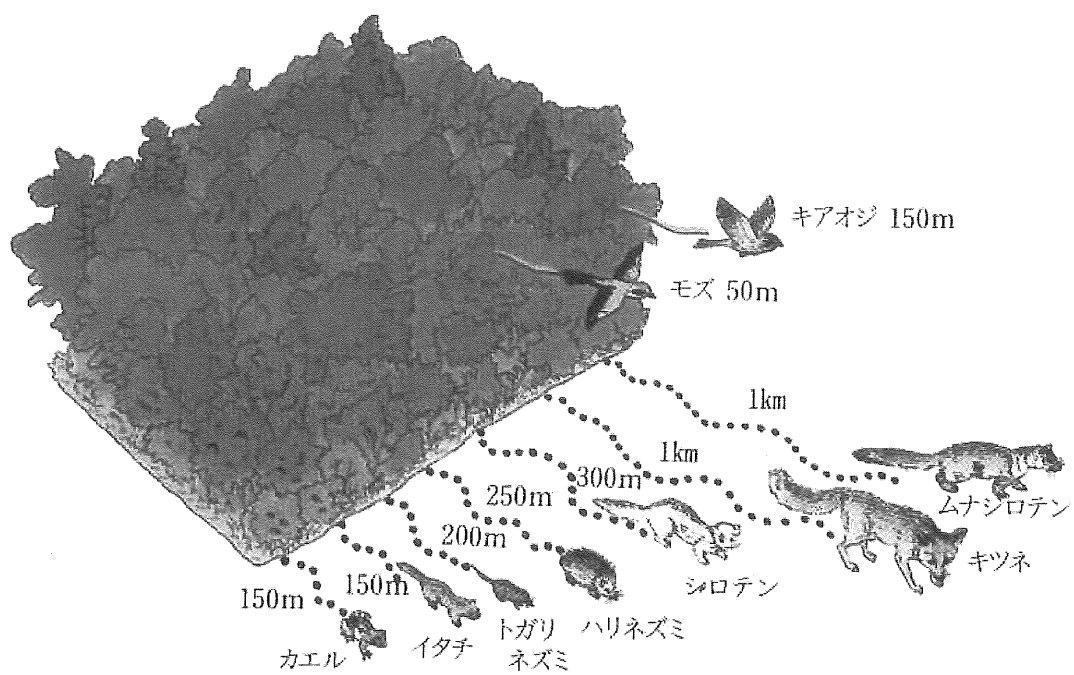


図-5.2.1 雑木林に生息する動物の行動範囲<sup>6)</sup>

### 5. 3 ロードキルについて<sup>7), 8)</sup>

道路を走行する自動車は、沿道に生息する野生動物に対して大きな影響を及ぼしている。道路上で野生動物が自動車にはねられて死亡する事故をロードキル (roadkill) と呼ぶ。一般道でも同様であるが、高速道路におけるロードキル問題が指摘されて久しく、日本道路公団ではその集計結果も報告されている。今回の調査でもそうであるが、高速道路におけるロードキルの事故に遭う機会が最も多い動物はタヌキである。これは高速道路が山麓や丘陵部のタヌキの生息地域に建設されることが多いことに起因する。この様に、ロードキルは特に地表を移動する小型ほ乳類にとって、生息地が分断される道路による障壁効果 (バリアー効果: barrier effect) が影響している。このような背景も一因として、昨今とみに自然との共生をめざした道づくりとしてエコロードが提唱され、各地でその実現が計られている。しかし、動植物を対象としているため、問題点や不明な点も多々ある。今後建設される道路はこれまでの知見をいかしたものとなるが、これまでに建設された道路にはその様な配慮はなく、また道路自体がどのような面を有しているかも不明である。

本研究ではロードキルの被害実態を長崎自動車道について実施し、その結果からロードキル多発地点と発生の少ない地点を区分し、それらの地点の空間周波数解析から、ゆらぎ指数を求め、各地点のもつ固有の特徴を解析した。



図-5.3.1 ロードキル調査区間<sup>9)</sup>

## 5. 4 長崎自動車道におけるロードキルの実態調査

ロードキルの実態調査は，日本道路公団長崎自動車道を管理している久留米，佐賀，長崎の3管理事務所における過去5年間の路上障害物処理件数から，小動物の死傷事故の実態を整理した．ロードキルの発生総数を表-5.4.1に示す．データの収集期間は平成5年度～平成9年度までの5年間である．

表-5.4.1 管理事務所ごとのロードキル発生数の変化<sup>10)</sup>

事務所名	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	合計
鳥栖	76	75	82	91	108	432
佐賀	335	308	324	355	432	1754
諫早(長崎)	432	305	293	294	334	1658

その結果を要約すると以下のとおりである．

- (1)久留米管内は都市化が進んでおり，年間の被害件数も100件以下が大部分である．その背景として，小動物自体の存在が少なく，また，生活の場がすでに他へ移行していると考えられる．
- (2)一方，佐賀・長崎管内では，年間の被害件数は共に300件以上と多数を数えている．このことから道路沿いにまだ生息環境が残っているといえる．確認されたほ乳類では，タヌキ，イタチ，ウサギがトップ3で，たまにイノシシが見られる．鳥類ではカラス，ハトが目につく．
- (3)季節的には春から夏が少なく，秋から冬・春に被害件数が増える傾向が見られる．

この結果を踏まえ，被害数の多い長崎管理事務所の管理区間にあたる，多良見IC（キロポスト108.3）～西九州道との分岐点（キロポスト64.6）間で発生したロードキルの状況を整理した．高速道路では24時間のパトロールが実施されており，ロードキルの状況が日報に記載されている．その内容は，発生日時，天候，動物の種類，場所（キロポスト，上下線），天候等である．年度別の発生件数と対象動物を整理して表-5.4.2に示す．また発生場所（キロポスト）における頻度分布を図-5.4.1に示す．

整理結果を要約すると以下のとおりである．

- (1)雨の日は動物の行動が低調なことから被害が少ない．
- (2)時間帯を見ると，夜行性（黄昏性）の特徴から薄暮～夜～明け方の被害が多い．
- (3)鳥類は俗に鳥目という様に夜の行動性は低い．



(4) 高速道路や一般道におけるロードキルの実態においても、タヌキ、ノウサギ、イタチ、キツネ等の被害が多く、今回の調査結果と同様の傾向を見せている。

この様に、ロードキルの被害にあっている小動物はタヌキに代表される。タヌキは夜行性動物であり、そのため夜間に被害を受けることが多い。タヌキの生態特徴は以下の点があげられ、このような生息条件は高速道路周辺に多く存在することが分かる。

(i) 行動域は通常 30～50ha、行動半径は 300～400m 程度である。

(ii) 深い森林より、雑木林、草地、小川など多様な環境が有る森林の林縁部が中心である。

(iii) 行動域内は万遍なく使われ、休息や採食等の集中的に使う場所を通路で繋いだ行動構造である。

表-5.4.2 ロードキルの発生件数の年次変化

動物の種類		平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	計	合計
ほ乳類	たぬき	163	74	95	87	85	504	898
	いたち	39	33	41	37	38	188	
	うさぎ	40	43	30	41	48	202	
	きつね	1	2	0	0	1	4	
鳥類	とび	2	2	9	7	3	23	304
	からす	10	9	2	10	6	37	
	はと	43	32	36	23	29	163	
	きじ	7	2	5	1	1	16	
	その他	23	15	7	9	11	65	
ほ か ぺ ット	いぬ	20	19	10	11	13	73	426
	ねこ	59	58	45	58	68	288	
	にわとり	3	1	5	4	18	31	
	へび・かめ	19	3	6	1	5	34	
合計		429	293	291	289	326	1628	1628

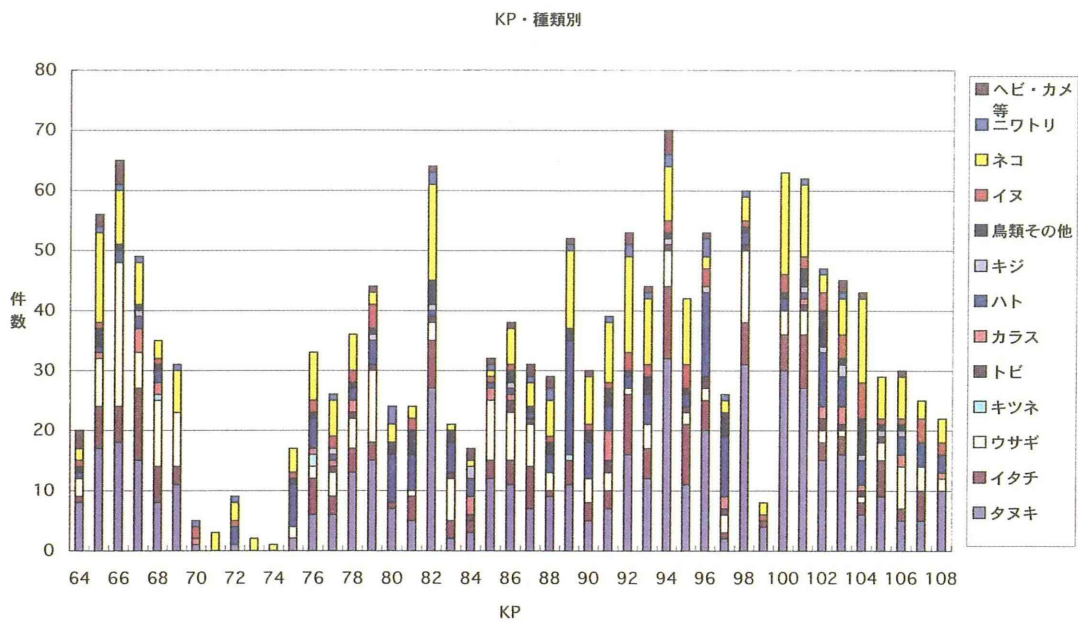
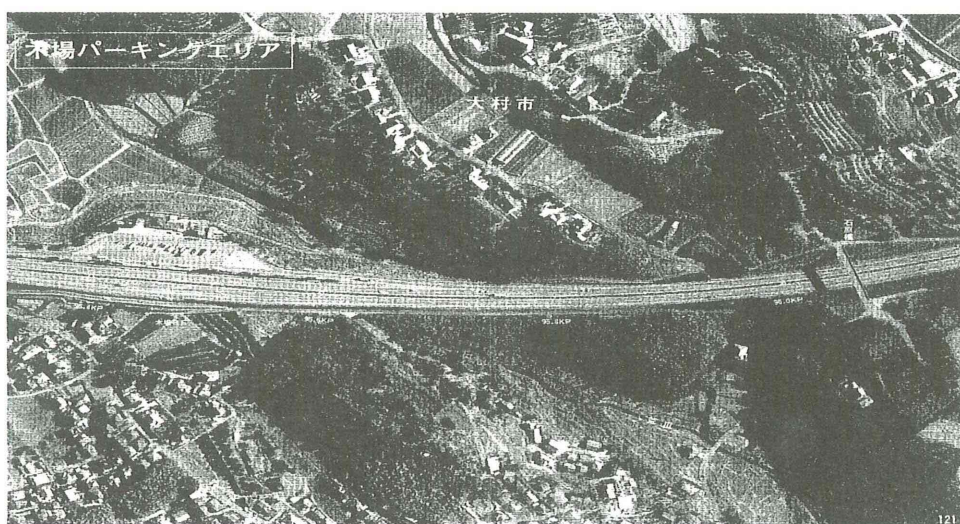


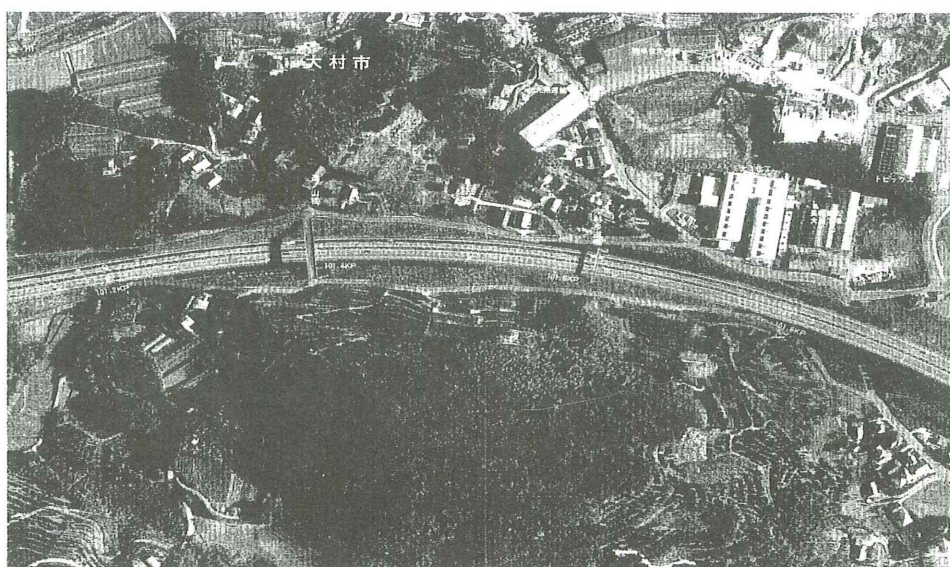
図-5.4.1 長崎自動車道に見られるロードキルの発生度数

## 5. 5 ロードキル発生場所の空間周波数解析結果と考察<sup>12), 13)</sup>

調査結果に着目して，長崎多良見から嬉野までの上下線を対象として，ロードキル発生数の多い地点及び少ない地点の写真から空間周波数解析を実施し，そのゆらぎ指数を求めた．解析画像用の写真は走行する自動車から撮影した．発生数の多い地点と少ない地点の代表的な画像を，それぞれ写真-5.5.1，写真-5.5.2に示す．ここに見られるように道路構造を分類すると，切土，盛土，橋梁等の区間に大きく分類される．また道路上には跨道橋が多くかけられている．切土法面は，高い法面や低い法面，また法面に植生が施されているものや，コンクリート吹き付けのままのものに区分される．



写真－5.5.1 発生数の多い地点付近の道路構造 (KP96)



写真－5.5.2 発生数の少ない地点付近の道路構造 (KP101.6)



長崎自動車道におけるロードキル発生地点のゆらぎ指数を表-5.5.1 に示す。発生数の多い地点と少ない地点の解析画像と解析結果を写真-5.5.3 と写真-5.5.4 および図-5.5.1 と図-5.5.2 に示す。

表-5.5.1 に示す f-合成の値は、水平方向と鉛直方向を平均したゆらぎ指数である。

道路構造による違い、すなわち切土規模や法面の植生の有無等並びに跨道橋の有無等に関しては、特徴的な傾向は見られなかった。



写真-5.5.3 ロードキルの発生が多い地点の状況 (KP96)

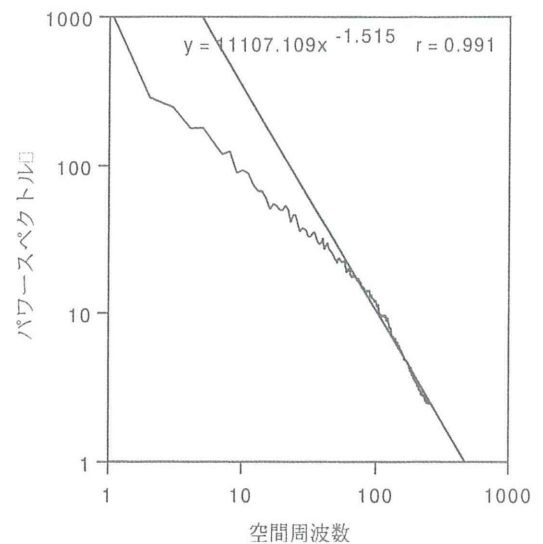


図-5.5.1 ロードキルの発生が多い地点の空間周波数



写真-5.5.4 ロードキルの発生が少ない地点の状況 (KP106)

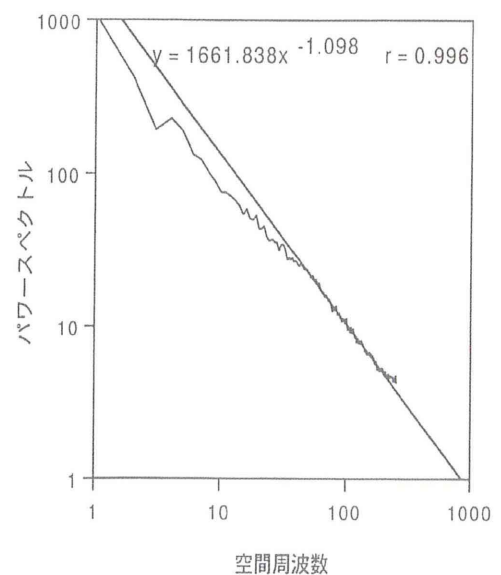


図-5.5.2 ロードキルの発生が少ない地点の空間周波数

表-5.5.1 長崎自動車道におけるゆらぎ指数一覧

		KP	構造	形態	法面の 植 生	発生の 多 少	赤(R)			緑(G)			青(B)			グレー(GR)		
							fh	fv	f-合成	fh	fv	f-合成	fh	fv	f-合成	fh	fv	f-合成
上り車線	1	65.9	F	平	-	多	1.267	0.926	1.097	1.220	0.930	1.075	1.212	0.999	1.106	1.298	0.992	1.145
	2	66.1	F	平	-	多	1.290	0.925	1.108	1.274	0.948	1.111	1.214	0.966	1.090	1.326	1.008	1.167
	3	66.4	C	小	×	多	1.301	0.926	1.114	1.244	0.876	1.060	1.178	0.948	1.063	1.308	0.958	1.133
	4	66.8	F	平	-	多	1.248	0.869	1.059	1.180	0.865	1.023	1.112	0.830	0.971	1.258	0.932	1.095
	5	67.4	C	中	×	多	1.298	0.909	1.104	1.203	0.882	1.043	1.133	0.866	1.010	1.270	0.953	1.112
	6	67.6	C	小	○	多	1.246	0.898	1.072	1.197	0.912	1.055	1.088	0.913	1.001	1.282	0.976	1.129
	7	83.6	CB	平	-	少	1.360	0.804	1.082	1.221	0.746	0.964	1.155	0.721	0.938	1.331	0.818	1.075
	8	83.7	CB	平	-	少	1.229	0.778	1.004	1.168	0.751	0.960	1.070	0.657	0.864	1.239	0.808	1.024
	9	84.1	CB	大	×	少	1.334	0.922	1.128	1.293	0.908	1.101	1.214	0.898	1.056	1.364	0.960	1.162
	10	84.4	FB	平	-	少	1.272	0.951	1.112	1.256	0.944	1.100	1.162	0.882	1.022	1.303	0.944	1.124
	11	89.7	C	中	×	少	1.269	0.897	1.083	1.235	0.873	1.054	1.116	0.887	1.002	1.289	0.966	1.128
	12	90.0	FB	平	-	多	1.255	0.815	1.035	1.162	0.801	0.982	1.174	0.834	1.004	1.277	0.895	1.086
	13	94.0	FB	平	-	多	1.248	0.823	1.036	1.215	0.846	1.031	1.116	0.861	0.999	1.292	0.917	1.105
	14	94.1	FB	小	-	多	1.563	0.912	1.238	1.526	0.911	1.219	1.360	0.819	1.090	1.566	0.979	1.273
	15	94.6	CB	小	○	多	1.299	0.835	1.067	1.226	0.865	1.046	1.226	0.865	1.046	1.299	0.882	1.091
	16	95.0	CB	小	○	多	1.149	0.779	0.964	1.090	0.740	0.915	1.113	0.776	0.945	1.170	0.814	0.992
	17	95.2	CB	小	○	多	1.248	0.846	1.047	1.197	0.811	1.004	1.172	0.888	1.030	1.255	0.892	1.074
	18	95.8	F	平	-	少	1.193	0.856	1.025	1.153	0.864	1.009	1.045	0.827	0.936	1.211	0.922	1.067
	19	96.0	C	小	○	少	0.953	0.802	0.878	0.985	0.811	0.898	0.948	0.862	0.905	1.098	0.917	1.008
	20	97.0	CB	中	○	多	1.627	0.930	1.279	1.499	0.872	1.186	1.288	0.887	1.088	1.578	0.938	1.258
	21	98.0	CB	中	×	少	1.081	0.728	0.905	1.066	0.759	0.913	0.978	0.766	0.872	1.129	0.817	0.973
	22	101.6	CB	小	○	多	1.466	0.805	1.136	1.449	0.856	1.153	1.530	0.856	1.193	1.515	0.902	1.209
	23	101.8	FB	平	-	多	1.405	0.775	1.090	1.336	0.719	1.028	1.401	0.776	1.089	1.443	0.823	1.133
	24	103.2	CB	小	○	多	0.796	0.624	0.710	0.853	0.657	0.755	0.784	0.579	0.682	0.889	0.719	0.804
	25	103.4	F	平	-	多	1.147	0.808	0.978	1.275	0.773	1.024	1.046	0.777	0.912	0.917	0.779	0.848
下り車線	1	65.8	C	小	○	多	1.150	0.914	1.032	1.141	0.905	1.023	1.133	0.902	1.018	1.216	0.953	1.085
	2	66.1	F	平	-	多	1.406	0.975	1.191	1.332	0.862	1.097	1.287	0.923	1.105	1.427	0.991	1.209
	3	66.2	C	小	×	多	1.355	0.852	1.104	1.374	0.862	1.118	1.306	0.843	1.075	1.413	0.905	1.159
	4	66.3	C	小	×	多	1.279	0.819	1.049	1.289	0.816	1.053	1.212	0.801	1.007	1.336	0.872	1.104
	5	66.5	C	小	○	多	1.218	0.773	0.996	1.135	0.798	0.967	1.135	0.739	0.937	1.229	0.831	1.030
	6	66.6	C	小	○	多	1.294	0.942	1.118	1.247	0.924	1.086	1.180	0.898	1.039	1.313	0.982	1.148
	7	66.8	F	平	-	多	1.360	0.755	1.058	1.301	0.715	1.008	1.257	0.717	0.987	1.415	0.857	1.136
	8	67.4	F	平	-	多	1.231	0.963	1.097	1.161	0.908	1.035	1.164	0.957	1.061	1.281	0.978	1.130
	9	83.7	CB	大	×	少	1.439	0.881	1.160	1.334	1.317	1.326	1.317	0.853	1.085	1.428	0.917	1.173
	10	84.0	CB	大	×	少	1.259	0.931	1.095	1.225	0.912	1.069	1.195	0.921	1.058	1.300	1.049	1.175
	11	84.1	CB	大	×	少	1.157	0.925	1.041	1.141	0.927	1.034	1.140	0.933	1.037	1.245	0.980	1.113
	12	84.2	CB	小	○	少	1.062	0.901	0.982	1.030	0.927	0.979	1.001	0.904	0.953	1.111	0.945	1.028
	13	87.7	FB	平	-	少	1.103	0.746	0.925	1.053	0.738	0.896	1.019	0.709	0.864	1.132	0.862	0.997
	14	87.8	FB	平	-	少	0.716	0.716	0.716	0.927	0.746	0.837	0.825	0.616	0.721	0.947	0.860	0.904
	15	89.6	CB	中	×	多	1.283	0.876	1.080	1.287	0.871	1.079	1.227	0.886	1.057	1.333	0.927	1.130
	16	89.8	C	中	×	多	1.233	0.817	1.025	1.283	0.819	1.051	1.135	0.778	0.957	1.039	0.890	0.965
	17	93.6	CB	中	○	多	1.184	0.861	1.023	1.167	0.832	1.000	1.127	0.833	0.980	1.204	0.892	1.048
	18	93.8	F	平	-	多	1.164	0.923	1.044	1.126	0.881	1.004	1.146	0.902	1.024	1.222	0.949	1.086
	19	94.8	CB	小	○	多	1.241	0.730	0.986	1.157	0.693	0.925	1.123	0.671	0.897	1.007	0.756	0.882
	20	95.8	CB	中	○	少	0.959	0.844	0.902	0.970	0.835	0.903	0.776	0.753	0.765	1.007	0.893	0.950
	21	96.0	CB	中	○	少	1.395	0.871	1.133	1.347	0.860	1.104	1.263	0.855	1.059	1.383	0.920	1.152
	22	96.2	CB	平	-	少	1.332	0.792	1.062	1.335	0.798	1.067	1.188	0.672	0.930	1.384	0.867	1.126
	23	96.4	FB	平	-	少	1.241	0.730	0.986	1.330	0.860	1.095	1.239	0.769	1.004	1.416	0.920	1.168
	24	96.6	CB	平	-	少	1.263	0.904	1.084	1.219	0.858	1.039	0.776	0.800	0.788	1.322	0.940	1.131
	25	96.8	CB	中	×	多	1.352	0.928	1.140	1.278	0.858	1.068	1.252	0.907	1.080	1.363	0.943	1.153
	26	96.9	C	大	×	多	1.257	1.016	1.137	1.202	0.986	1.094	1.352	0.928	1.140	1.257	1.039	1.148
	27	97.0	C	中	×	多	1.256	0.828	1.042	1.241	0.828	1.035	1.187	0.884	1.036	1.307	0.906	1.107
	28	98.0	C	中	×	少	1.277	0.901	1.089	1.253	0.889	1.071	1.181	0.877	1.029	1.332	0.942	1.137
	29	98.2	F	平	-	少	1.144	0.775	0.960	1.094	0.801	0.948	1.035	0.744	0.890	1.158	0.865	1.012
	30	98.4	C	中	○	少	1.004	0.869	0.937	0.986	0.862	0.924	0.965	0.853	0.909	1.046	0.924	0.985
	31	98.8	F	-	-	少	1.229	0.788	1.009	1.152	0.776	0.964	1.107	0.714	0.911	1.209	0.832	1.021
	32	98.9	F	-	-	多	1.285	0.839	1.062	1.179	0.808	0.994	1.106	0.744	0.925	1.250	0.862	1.056
	33	99.0	F	-	-	多	1.258	0.903	1.081	1.183	0.855	1.019	1.116	0.809	0.963	1.264	0.915	1.090
	34	100.2	F	平	-	多	1.224	0.836	1.030	1.224	0.836	1.030	1.224	0.872	1.048	1.245	0.873	1.059
	35	100.4	F	平	-	多	1.175	0.759	0.967	1.188	0.745	0.967	1.116	0.773	0.945	1.256	0.865	1.061
	36	100.6	F	平	-	多	1.183	0.857	1.020	1.183	0.857	1.020	1.183	0.857	1.020	1.177	0.886	1.032
	37	100.8	FB	平	-	多	1.047	0.722	0.885	1.047	0.722	0.885	1.047	0.722	0.885	1.102	0.752	0.927
	38	101.0	FB	平	-	多	1.087	0.742	0.915	0.833	0.722	0.778	1.053	0.756	0.905	1.177	0.833	1.005
	39	101.6	CB	小	○	多	1.317	0.780	1.049	1.290	0.741	1.016	1.267	0.816	1.042	1.351	0.868	1.110
	40	101.8	F	平	-	多	1.112	0.713	0.913	1.089	0.695	0.892	1.057	0.709	0.883	1.185	0.847	1.016
	41	103.4	F	平	-	多	1.037	0.717	0.877	1.049	0.711	0.880	0.972	0.711	0.842	1.351	0.866	1.109
構 造: F-盛土、C-切土、B-画像に跨道橋を含む																		
形 態: 大-大きな切土法面、中-中くらいの切土法面、小-小さい切土法面、平-平坦な地形盛土を含む																		
法面の植生: ○-法面に植生あり、×-法面は吹き付けのみ																		
発生の多少: 多-ロードキル発生が多い地点、少-ロードキル発生が少ない地点																		

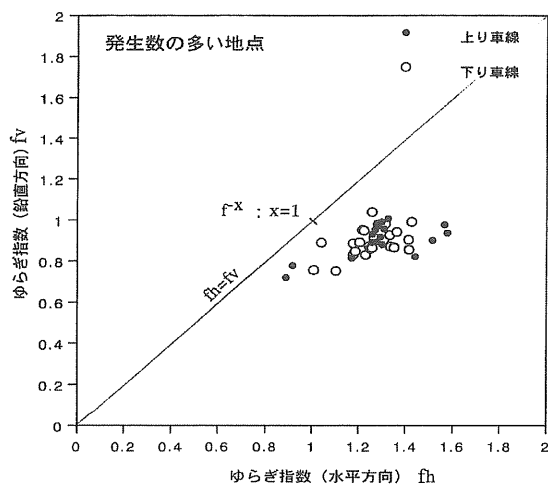


図-5.5.3 ロードキルの発生が  
多い地点のゆらぎ指数

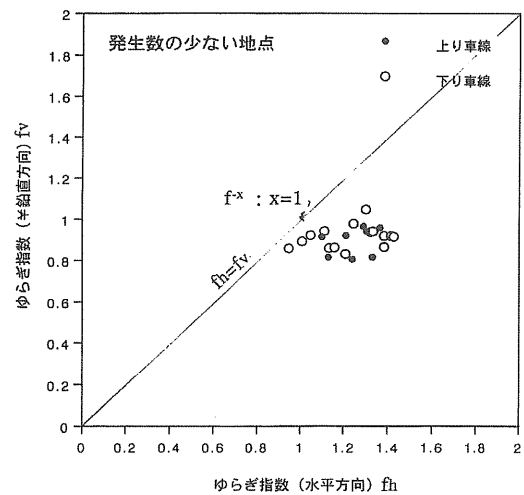


図-5.5.4 ロードキルの発生が  
少ない地点のゆらぎ指数

図-5.5.3 と図-5.5.4 を見ると、いずれの地点のゆらぎ指数も  $f_h = f_v$  の直線より下位に分布するが、多発地点の水平方向の分布幅が少ない地点の分布幅より広がっている。図-5.5.5 と図-5.5.6 は横軸に道路のキロポスト、縦軸にゆらぎ指数の平均値を示す。これを見ると、ロードキルの発生が少ない地点におけるゆらぎ指数（水平と鉛直の平均値）は 0.9～1.2 であるが、多発する地点は 0.8～1.3 とその範囲幅が広い。これらのことは、極端にゆらぎ指数が高い、もしくは低いといった地点は、空間情報が複雑か逆に単調すぎるといえ、分布幅の違いが小動物の感性に何らかの影響を与えていると推察された。

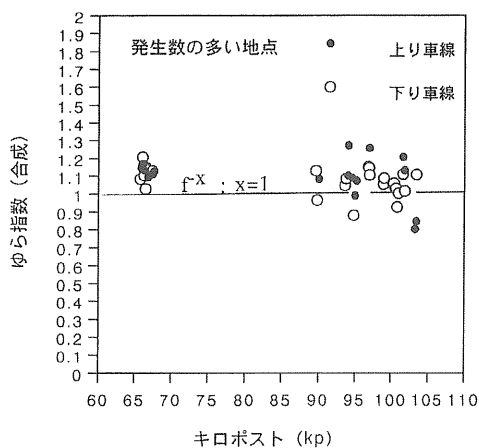


図-5.5.5 キロポスト別の  
ロードキルの発生が多い地点の  
ゆらぎ指数

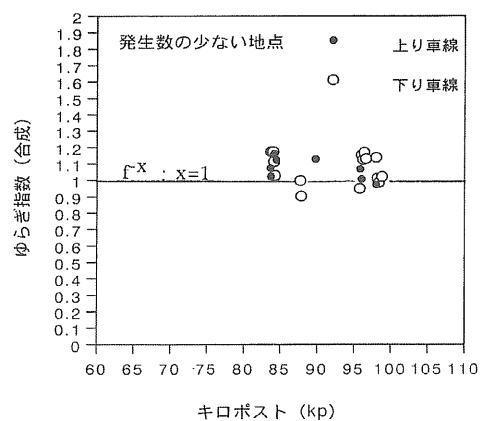


図-5.5.6 キロポスト別の  
ロードキルの発生少ない地点の  
ゆらぎ指数

## 5. 6 まとめ

自然の中に建設された高速道路の景観とロードキルの発生場所の間に何らかの傾向が見られると推測して空間周波数解析を実施した．ゆらぎ指数を用いて，その結果を整理すると表-5.6.1に示すように表される．

表-5.6.1 ロードキル発生地点と空間周波数の関係

対 象		高速道路のロードキル（自然構成要素：生物と交通車両の衝突）
構成要素		生物・道路面・法面・斜面・盛土・跨道橋・交通車両
ゆらぎ 指数	幅 が 広 い	自然が豊富 → 動植物が多い → ロードキルの被害が多い → 周辺の生態系を隔離する必要がある
		自然が多様 → 生物の種が多様
		生息空間が豊富・移動が容易
	幅 が 狭 い	自然が少ない → 動物が少ない → ロードキルの被害が少ない → 生態系保全に努める
		自然が一様 → 生物の種が一様
		切土・法面から構成（周囲に人工構造物が多い）

すなわち，ロードキルが多発する地点は，ゆらぎ指数の幅が広く，複雑もしくは単調といった，周囲に比べて極端に異なる空間情報を有していると考えられる．したがって，その様な場所は，生物の生息空間が豊富なため沢山生息している．言い換えれば，ゆらぎ指数の分布幅が広いほうがさまざまな要素を多く持っており，多くの種類の植物が繁茂し，動物が生息している．この様に多様な環境を有しているため，ロードキルが多いとも考えられる．逆に，ゆらぎ指数の幅が狭い地点は，自然が一様で，生態系が偏っていることから，生物の生息が乏しくなっている，と言える．

本研究は，ロードキル発生場所の空間情報を空間周波数解析で定量化する試みであった．今回実施した空間周波数解析は，運転席から見える景観を輝度で表し，その変化をゆらぎ指数として取り上げた．道路環境は，多くの要素から構成されている．また，小動物の生態も複雑であるため，ロードキルと発生場所の因果関係を結論つけるには，ゆらぎ指数だけでなく多くの要素について検証する必要がある．今後は，輝度変化のみでなく，色調も考慮するとともに，小動物の視点（地上から50cm以下と考えられる）や視野，小動物側が認識する様な，可視光より波長の長い赤外線画像ほかの要素を取り入れることにより，生息区域とロードキルの関係が明瞭になると考えられる．

## 第5章の参考文献

- 1) 株式会社 KICTEC ホームページよりダウンロード
- 2) (財) 日本生態系協会 (1999) : エコシステム No. 42, 3月号, p. 4
- 3) 亀山章編 (1997) : エコロード, ソフトサイエンス社, pp. 2~27
- 4) 建設省道路局道路環境課監修 (1995) : 自然との共生をめざす道づくり, 大成出版, pp. 21~22
- 5) 荒井秋晴 (1999) : ロード・キル, 地質と調査, 第3号, pp. 40~44
- 6) 建設省道路局道路環境課監修 (1995) : 自然との共生をめざす道づくり, 大成出版, p. 23
- 7) 亀山章編 (1997) : エコロード, ソフトサイエンス社, pp. 148~166
- 8) 森崎耕一 (1997) : 高度道路の自然環境保全—エコロードをめざして—, 土と基礎, 地盤工学会, Vol. 45, No. 1, pp. 4~6
- 9) (財) ハイウェイ交流センター : エリアガイドマップ, 九州自動車道
- 10) 日本道路公団 福岡技術事務所 : 路上障害物処理件数調査
- 11) 武者利光 (1995) : ゆらぎの発想, NHK出版, p. 29
- 12) 後藤恵之輔・内田篤志・安部寛章 (1999) : 長崎自動車道におけるロードキルについての評価と対策, 土木構造・材料論文集, 第15号, pp. 79~84
- 13) 後藤恵之輔・内田篤志・安部寛章 (2000) : 高速道路のロードキル評価への空間周波数解析の適用, 土木学会西部支部研究発表会概要集, IV-55, pp. 754~755
- 14) 城戸勝廣・恵藤英昭 (1997) : 九州管内ロードキル実態調査について, 第22回日本道路会議論文集, pp. 110~111
- 15) 広川宗生・仲俣浩 : ビオトープネットワーク設計手法—都市部の道路整備の場合 (前編), 土木技術, 52巻, 第11号, pp. 88~94
- 16) 築瀬智史 : 道路空間におけるビオトープ整備, 土木技術, 52巻, 第11号, pp. 95~101
- 17) 広川宗生・仲俣浩 : ビオトープネットワーク設計手法—都市部の道路整備の場合 (後編), 土木技術, 53巻, 第1号, pp. 96~100
- 18) 上坂克己・大西博文・藤原宣夫・小根山裕之・森崎耕一 (2000) : 道路事業における生態系の評価手法, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 42, No. 1, pp. 24~27



## 第6章 交差点での交通事故に関する交通環境の評価

### 6. 1 交通事故の現状

現在、我々の生活において欠かすことのできないものの一つに自動車がある。平成 11 年 4 月の時点で、運転免許保有者数はすでに 7,300 万人を超えている<sup>1)</sup>という事実が、まさにそれを物語っている。

自動車はその利便性により、洋の東西を問わず現代社会に急速に普及していった。しかし、その一方で、自動車による交通事故が後をたたないのも、見逃すことのできない事実である。つまり、国民のだれもが交通事故の被害に遭う危険にさらされているのである。

道路は自動車が走行するために設けられた特別な施設であるが、道路を取り巻く環境は各地において様々である。特に交差点においては、これまで走行してきた道路や環境から急激な変化を見せる場合もある。実際に道路を自動車で走行する際、運転している人間は、他の自動車や通行人、道路沿いの構造物、街路樹等の必然的に視界に入ってくる物から何らかの影響を受けている。この様に交差点は様々な情報が集中する場であり、交通事故の中でも特に交差点における事故が多く発生している。ドライバーにとって、交差点を運転する際には、自動車や通行人、道路沿いの構造物、街路樹などが必然的に視界に入ってくる。よって、それらの影響が交通事故を引き起こす要因となることも考えられる。

本研究は、交差点での交通事故に着目し、発生件数が多い場所とそうでない場所では、運転者が感じる空間（景観）に何らかの違いがあるのではないかと考え、空間周波数解析により交差点固有の特徴をゆらぎ指数を用いて検証した。

## 6. 2 交通事故の要因

交通事故が発生する背景には多くの要因が混在している。平成6年の交通死亡事故の要因を人的要因、道路環境的要因、車両的要因の3つに分類して表-6.2.1に示す。

これを見ると、死亡事故発生件数8,050件のうち人的要因が7,571件(94%)、道路環境的要因が405件(5%)、車両的要因が74件(1%)であり、死亡事故のほとんどが人的要因によるもので、道路環境的要因や車両的要因による死亡事故は非常に少ない。ちなみに、ここでの道路環境的要因というのは、積雪や路面凍結による道路障害や渋滞、駐・停車車両による通行障害、建物等による見通し不良などである。

表-6.2.1 要因別死亡事故<sup>2)</sup>

		人的要因	道路環境的要因	車両的要因	合計
死亡事故	件数	7,571	405	74	8,050
	割合	94.0%	5.0%	0.9%	100%
重傷事故	件数	54,781	3,224	186	58,191
	割合	94.1%	5.5%	0.3%	100%
人身事故	件数	632,645	32,585	1,312	666,542
	割合	94.9%	4.9%	0.2%	100%

この内人的要因を、認識の欠如・遅れ(前方不注意、安全不確認等)、判断の誤り等、操作の欠陥等、運転者自身の運転能力・適格の欠如(健康状態の不良、故意の違反に伴う事故等)に分類すれば、表-6.2.2に示すような原因構成となる。

死亡事故について見ると、認識の欠如・遅れが4,300件(56.8%)、判断の誤りが1,393件(18.4%)、操作の欠陥等が704件(9.3%)、運転者自身の運転能力・適格の欠如が1,060件(14.0%)などであり、認識の欠如・遅れと判断の誤りが全体の4分の3を占め、これらが事故の大きな要因となっていることが判る<sup>3)</sup>。

表-6.2.2 人的要因による事故原因の構成<sup>3)</sup>

		認識判断 の遅れ	判断の 誤り	操作の 欠陥	運転能力適 格性の欠如	調査 不能	合計
死亡事故	件数	4,300	1,393	704	1,060	114	7,571
	割合	56.8%	18.4%	9.3%	14.0%	1.5%	100%
重傷事故	件数	41,634	7,395	3,725	1,917	110	54,781
	割合	76.0%	13.5%	6.8%	3.5%	0.2%	100%
人身事故	件数	525,095	58,203	35,428	13,918	—	632,644
	割合	83.0%	9.2%	5.6%	2.2%	—	100%

道路環境的要因について整理したものを表-6.2.3に示す。死亡事故では、道路障害(積雪、凍結等)が136件(33.6%)、建物等による見通し不良が71件(17.5%)、通行障害(渋滞、駐・停車車両)が67件(16.5%)、交通安全施設不良が80件(19.8%)などであり、道路障害が最も大きな要因となっているが、重傷事故や人身事故においては視認に関係する見通し不良が最も大きな要因となっている。

車両関係を要因とした事故件数を表-6.2.4に示す。これを見ると、死亡事故ではタイヤ

不良（パンク・バースト、摩擦、雪道の普通タイヤ等）を原因とする事故が 27 件（36.5%）、フロントガラス等の不良が 5 件（6.8%）、荷崩れが 5 件（6.8%）などであり、タイヤ不良が死亡事故に限らず重傷事故や人身事故において最も大きな要因となっている。

表・6.2.3 道路環境による要因の事故構成 <sup>4)</sup>

		見通し 不良	道路 障害	通行 障害	安全施設 不良	その他	調査不能	合計
死亡 事故	件数	71	136	67	80	46	5	405
	割合	17.5%	33.6%	16.5%	19.8%	11.4%	1.2%	100%
重傷 事故	件数	1,283	929	571	200	239	3	3,225
	割合	39.8%	28.8%	17.7%	6.2%	7.4%	0.1%	100%
人身 事故	件数	14,370	9,254	6,484	1,075	1,401	—	32,584
	割合	44.1%	28.4%	19.9%	3.3%	4.3%	—	100%

表・6.2.4 車輦関係の要因による事故構成 <sup>5)</sup>

		制動 不良	タイヤ 不良	フロント ガラス不良	荷崩れ	その他	調査 不能	合計
死亡 事故	件数	—	27	5	5	7	30	74
	割合	—	36.5%	6.8%	6.8%	9.5%	40.5%	100%
重傷 事故	件数	10	103	8	11	38	16	186
	割合	5.4%	55.4%	4.3%	5.9%	20.4%	8.6%	100%
人身 事故	件数	87	817	76	81	188	63	1312
	割合	6.6%	62.3%	5.8%	6.2%	14.3%	4.8%	100%

### 6. 3 交通事故発生メカニズム

自動車を運転するドライバーは、運転中には、『認知・判断・操作』という3つの作業を繰り返さなければならない<sup>6)</sup>。ここにいう3つの作業とは以下の内容を意味する。

①認知とは、周囲（特に前方）の交通状況や交通情勢に注意して異常や危険を見つけること。

②判断とは、異常や危険を認知してから、それに対してどのような行動をとれば良いかを決めること。

③操作とは、その判断に従って手足を使って運転操作をすること。

そして、この3つの作業を繰り返す中で、どれか1つでもミスを行えば交通事故が発生するのである。表-6.2.2に示したように、死亡事故における要因としては、「認知の欠如・遅れ」と「判断の誤り」が全体の4分の3を占め、重傷事故と人身事故では9割を占めている。運転という操作メカニズムにおいて、事故要因が作用した場合の事故発生メカニズムを示すと図-6.3.1のようになる。

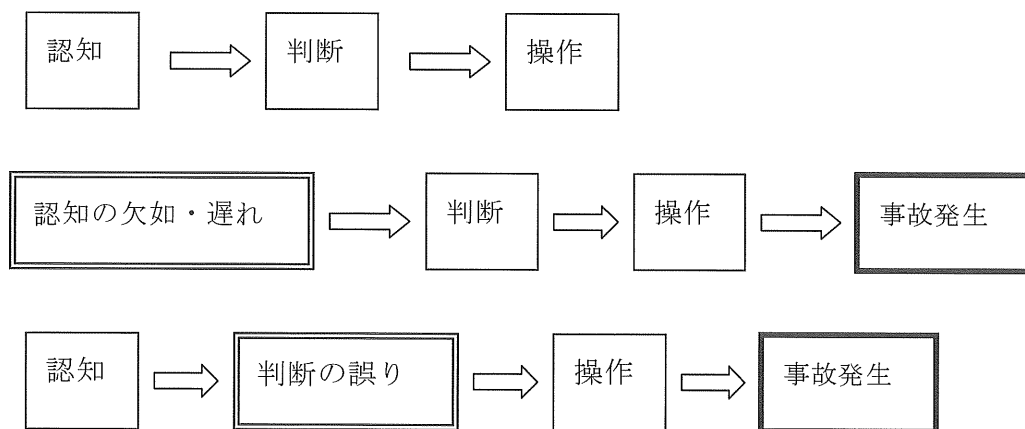


図-6.3.1 運転メカニズムと事故発生メカニズム

ここで問題となるのが「なぜ認知が欠如していたのか」、「なぜ認知が遅れたのか」、あるいは「なぜ判断を誤ったのか」ということである。この原因が判明しない限り、交通事故を減少させることはできない。

「認知の欠如」とは、「交通状況や交通情勢に潜んでいる異常や危険を認知していなかったこと」を言うが、ここには2つのケースがあると思われる。

1つは、ドライバーが注意を怠っていたために異常や危険を認知できなかった、あるいは認知が遅れたケースである。もう1つは、ドライバーは細心の注意を払っていたが、異常や危険を物理的あるいは生理的に認知できなかった、あるいは認知自体が遅れたケースであり、これは人間の認知能力の限界によるものである。

また、「判断の誤り」とは、「認知した異常や危険に対する判断を誤ったこと」を言うが、自動車運転中には、認知された異常や危険に対処するための判断を誤ることは、一般的には考えられず、むしろ『判断は認知に従うため、認知そのものに誤りがあり、誤った認知が結果として判断を誤らせた』と考える方が自然である。

つまり、「認知の欠如・遅れ」や「判断の誤り」による交通事故は、注意しても異常や危険を認知できない、あるいは認知が遅れるという人間の認知能力の限界や、認知を誤らせる錯覚などが一つの原因であると考えられるのである。

認知能力の限界を原因とする事故発生のメカニズムを示すと、図-6.3.2 のようになる。

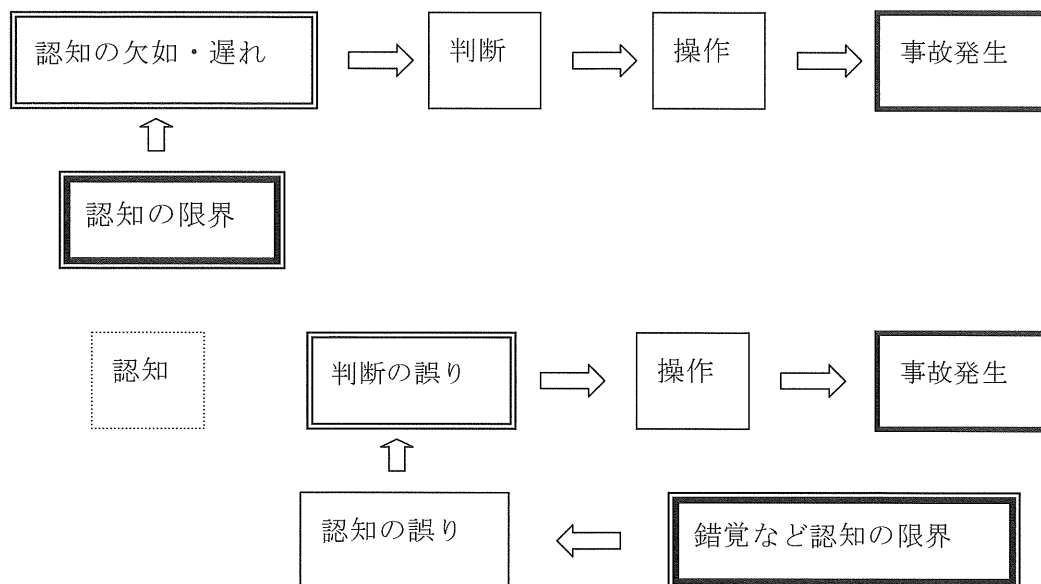


図-6.3.2 認知の限界を原因とする事故のメカニズム

## 6. 4 解析の手順

前節に述べた様に、交通事故の発生要因には多種・多様の原因が列挙されるが、運転者の認知・判断の誤りといった心理面が交通事故原因の要素になっていることも少なくないと言える。

自動車を運転する際は、自分の足で歩く場合とは異なり、意識・無意識は別としても、多少なりとも事故回避の心構えををすると思われるが、それでも交通事故は起こっている。また、交通事故も、多発する地点とそうでない地点がある。つまり、交通事故が多発する地点というのは、自動車の運転手に心理的に何らかの影響を与え、その空間が持つ何らかの影響を運転手が受けることにより交通事故が発生している、ということが考えられる。

そこで本章では、空間周波数解析を用いて、①交通事故が多発する地点と②そうでない地点で、人に与える影響についてそれぞれの空間（景観）に何らかの違いがあるのでは無いかと考えた。

作業手順としては、解析を行う現場（交差点）を訪れ、解析画像の写真を撮影した。撮影する際考慮すべきこととしては、自動車を運転している人間に対する影響を調べるものであるため、できる限りドライバーの視点の高さと合わせることが上げられる。しかし、自動車の種類によってドライバーの視点の高さが異なる（図-6.4.1 参照）。また、交差点における写真の撮影中に、全ての車線の自動車を思い通りに配置することは不可能であり、特に熊本県においては、交通事故が起こるときは周りで自動車が走行している時間帯のほが多いということもあり、撮影時の自然な状態で撮影を行うこととした。

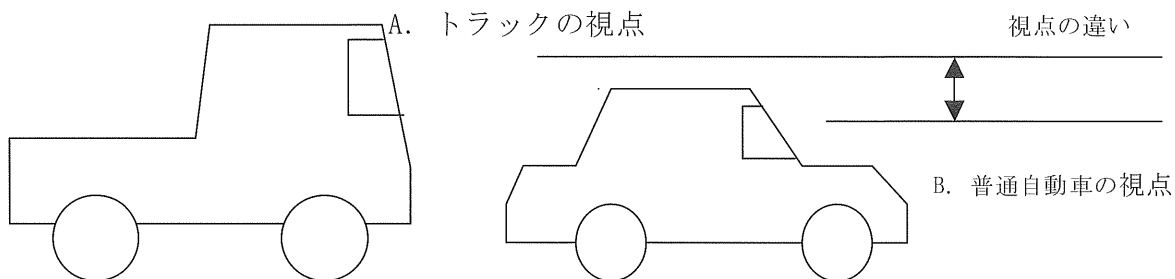


図-6.4.1 車種によるドライバーの視点の違い

本研究は、新聞記事、熊本・長崎各県警及び長崎県庁からの提供資料や情報、現地調査等をもとに、熊本市内と長崎市内の代表的な交差点を対象に空間周波数解析を実施した。解析方法は第2章に示したとおりである。

## 6. 5 熊本県における交差点での交通事故

### 6. 5. 1 熊本県内の交通事故状況

熊本県では、平成 10 年 8 月から 1 年間に発生した交通事故が、前年 1 年間に発生した交通事故に対して、増加していることが分かった<sup>8)</sup>。しかも、全交通事故のうちの 50.2% に当たる約 3,700 件が交差点とその周辺で発生している。

事故の主な例としては以下のようなケースが挙げられる。

- ① 信号機のある交差点で追突する。
- ② 直進車と対向してくる右折車が衝突する。
- ③ 右・左折する車が歩行者をはねる。

また、平成 9 年 8 月からの 1 年間とその翌年 1 年間において、特定の交差点における事故発生数を見てみると、表-6.5.1 に示す様になる。

表-6.5.1 交通事故発生件数比較<sup>8)</sup>

交差点名	H.9～H.10	H.10～H.11
水道町	17	28
白山	13	11
代継橋	7	12
藤崎宮前	7	10

単位：件

以下に事故要因を天候状況と時間帯について整理する。

#### (1) 天候別交通事故状況

天候が良い日もあれば悪い日もあるのは当然であるが、どのような天候のときに、どれくらいの数の交通事故が発生しているのか整理し表-6.5.2 に示す。調査した交差点では、特に天候別に特徴的な傾向は見られない。一般的に天候が悪いと交通事故が起こりやすいという考えを持つが、実際には、天候が良い日でも交通事故は起きていることが分かる。今回解析の対象とした交差点は、表-6.5.2 の発生件数が多い水道町、白山、代継橋、藤崎宮前の各交差点である。

表-6.5.2 天候別事故発生数<sup>9)</sup>

交差点名	晴	雨	曇
水道町	16	5	7
白山	5	2	4
代継橋	7	3	2
藤崎宮前	6	1	3
保田窪北	5	3	0
田井島	5	3	4
水前寺公園前	5	4	1

(2) 時間別交通量

水道町，白山，代継橋，藤崎宮前の4交差点で，時間帯別に発生した事故種別を分類して表-6.5.3に示す．発生件数は水道町が多く，他の3交差点は10件程度で似た状況である．

表-6.5.3 時間別交通量<sup>10)</sup>

交差点名	発生件数 (件)	死者数 (人)	傷者数 (人)	時間別発生件数(件)								人対車両		車両相互						車両単独
				22～5	5～7	7～9	9～12	12～15	15～17	17～19	19～22	横断中	その他	正面衝突	追突	出会い頭	右左折	その他		
水道町	28	1	33	① 13	0	0	2	5	3	2	3	① 4	0	0	10	0	9	3	2	
白山	11	0	14	1	1	0	0	1	3	1	4	2	0	0	1	1	6	1	0	
代継橋	12	0	16	4	1	0	2	2	0	2	1	1	0	0	4	3	3	1	0	
藤崎宮前	10	0	11	5	0	0	0	1	1	2	1	0	1	0	3	0	5	1	0	



## 6. 5. 2 熊本市内の交差点におけるゆらぎ性評価

### (1) 熊本市内の各交差点の画像とゆらぎ指数

本節では、前述した熊本市内の水道町、白山、代継橋、藤崎宮前の4交差点について空間周波数解析を行った。これら交差点の位置を図-6.5.1に示す。代表的な交差点として水道町交差点と世継橋交差点の解析画像を写真-6.5.1と写真-6.5.2に掲載する。

各交差点の流入方向(1～4)の画像について、R(赤)・G(緑)・B(青)・Gr(フルカラー)別に周波数分解した画像のゆらぎ指数を求めた。解析結果を次頁以降に掲載する。

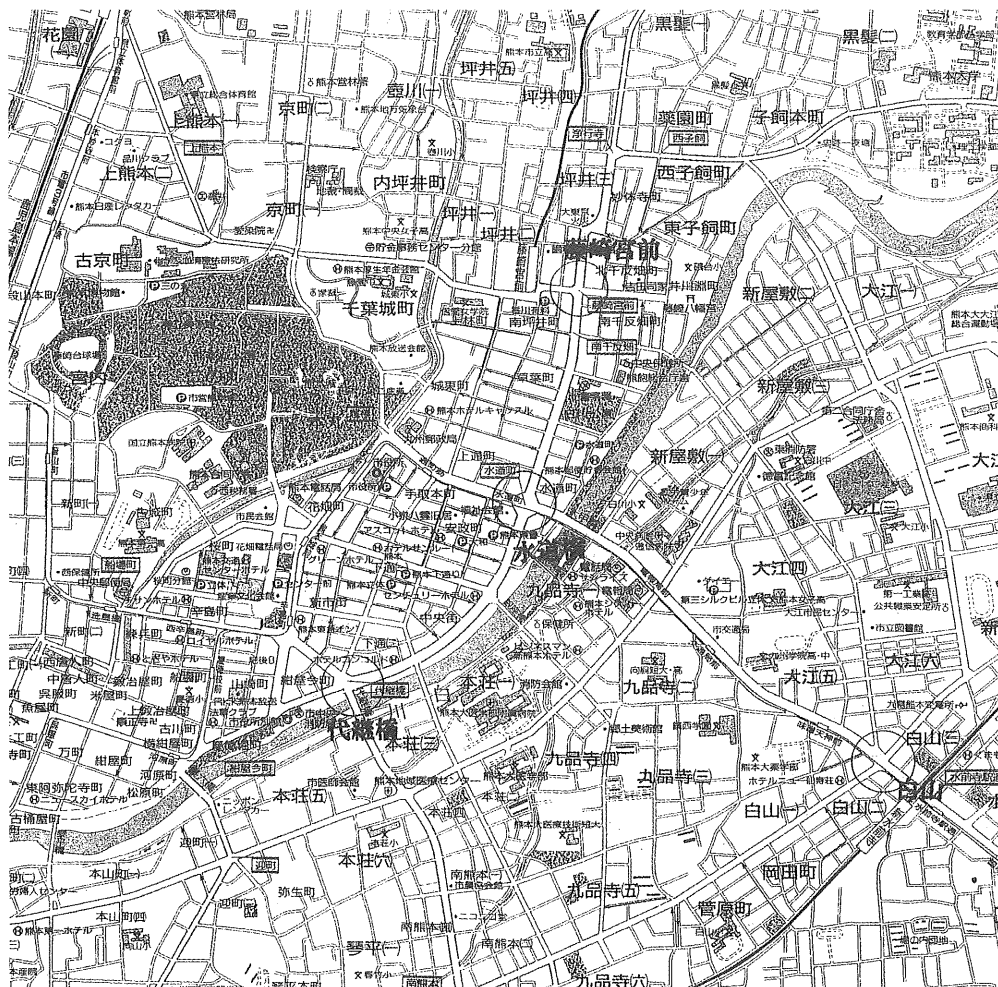


図-6.5.1 熊本市内の解析交差点の位置<sup>11)</sup>



流入方向 1



流入方向 1



流入方向 2



流入方向 2



流入方向 3



流入方向 3



流入方向 4



流入方向 4

写真・6.5.1 水道町交差点の全景

写真・6.5.2 代継橋交差点の全景

### 6. 5. 3 解析結果

解析結果からゆらぎ指数の平均値を各色（グレースケールにした R・G・B・フルカラー）、各流入方向でまとめて表-6.5.4 に示す．それを散布図にしたものが図-6.5.2 である．これは、各交差点を一つの空間として捉えるためにまとめたものである．表-6.5.4 の中で網の掛かっていないところが、ゆらぎ指数が最大値と最小値（斜体数字）を示した画像である．ゆらぎ指数自体どの画像においてもだいたい 1.7～2.2 の間に分布しており、流入方向や色別に特徴的な傾向は示していない．ゆらぎ指数は、周波数とパワースペクトルの関係（前出図-2.4.3）に照らすと、単調さを伺わせる値である．各交差点における最大ゆらぎ指数と最小ゆらぎ指数の差を取り出すと以下のとおりである．（ ）内の数値は、平成 10 年～平成 11 年の 1 年間の事故発生件数である．

水道町交差点 :  $2.165 - 1.784 = 0.381$  (28 件)

白山交差点 :  $2.212 - 1.718 = 0.494$  (11 件)

代継橋交差点 :  $2.184 - 1.729 = 0.455$  (12 件)

藤崎宮前交差点 :  $2.131 - 1.735 = 0.396$  (7 件)

交通事故発生件数が特に多い水道町交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差が小さい値を示している．それに対して白山、代継橋の両交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が大きい．藤崎宮前交差点を除くが、ゆらぎ指数のばらつきの範囲を見ると、事故が多い交差点では狭く、事故の少ない交差点では広くなる傾向が見られた．全体に青色成分（B）の周波数における画像は、ゆらぎ指数が低く、他の色成分に比べて心地よいといわれる  $1/f$  ゆらぎに近づいている．色を分解せずに、そのままの画像（フルカラー）をグレースカラーとして解析した画像は、全体に高いゆらぎ指数を有している．

表-6.5.4 ゆらぎ指数の平均値

#### 水道町

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	1.803	1.980	2.165	1.820
	G	1.845	1.873	2.117	1.852
	B	<i>1.784</i>	1.816	2.019	1.818
	Gr	1.896	1.960	2.127	1.894

#### 白山

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	2.137	1.991	2.054	2.035
	G	2.103	1.972	1.977	1.960
	B	1.828	1.767	1.839	<i>1.718</i>
	Gr	2.212	2.043	2.032	2.037

#### 代継橋

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	2.053	1.869	1.798	1.826
	G	2.101	1.898	1.776	1.805
	B	2.040	1.829	<i>1.729</i>	1.732
	Gr	2.184	1.956	1.840	1.871

#### 藤崎宮

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	2.037	2.127	2.016	1.940
	G	1.964	2.059	1.952	1.915
	B	1.931	1.913	1.818	<i>1.735</i>
	Gr	2.035	2.131	2.019	1.953

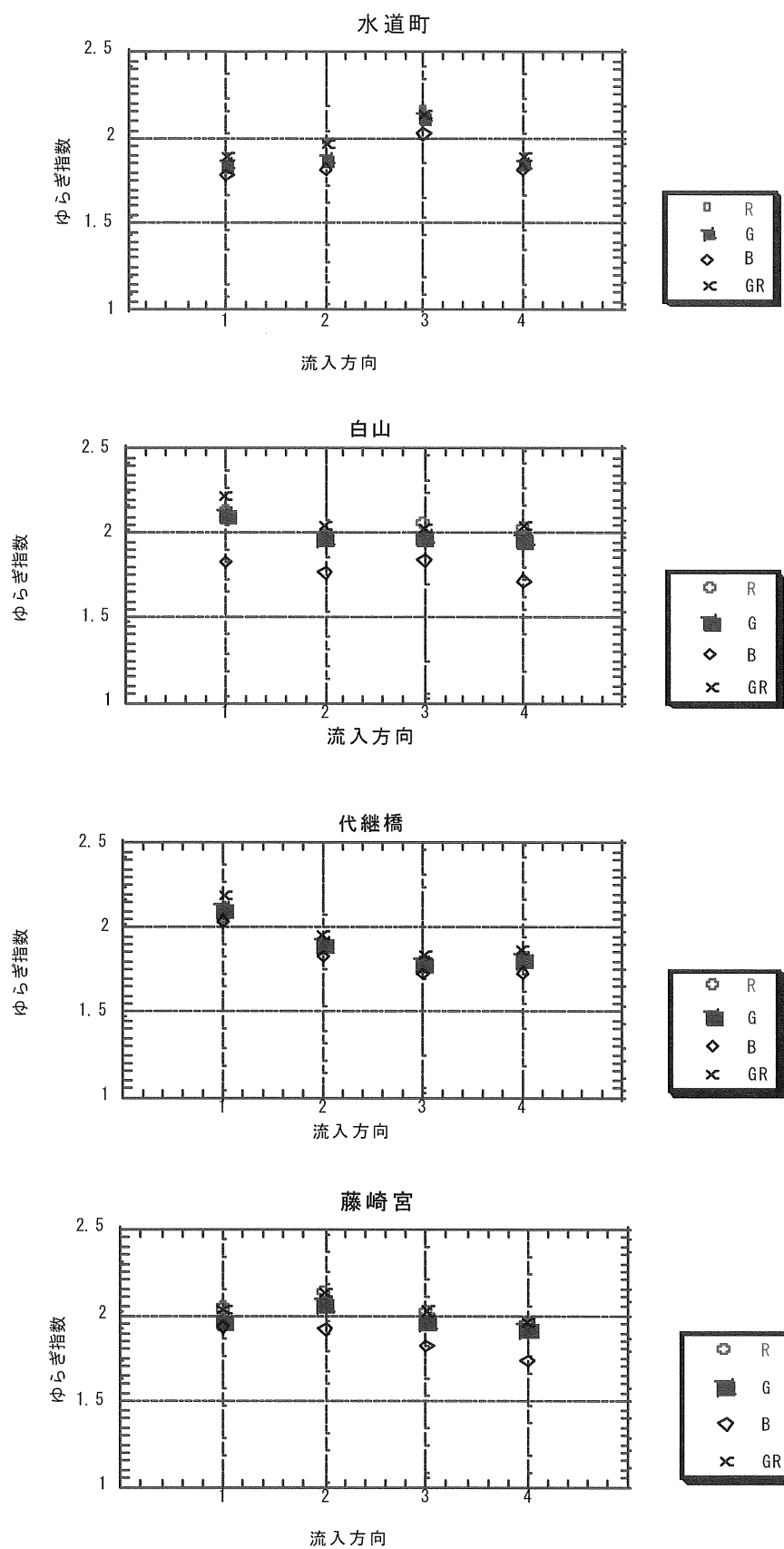


図-6. 5. 2 ゆらぎ指数の変化

## 6. 6 長崎県における交差点での交通事故

### 6. 6. 1 長崎県内の交通事故状況

長崎県内で平成 10 年に記録された交通事故の 52%は、交差点とその付近で発生している。県内の交差点において交通事故発生件数が多い順に 10 箇所を抽出し、それらの事故件数を合計してみると 93 件であり、死者は 1 名、傷者が 107 名という数になった。

本節では、その 10 箇所の交差点の中で特に事故発生数が多かった 4 箇所の交差点と、それらの交差点と似た条件を持つ交差点について空間周波数解析を行った。事故多発交差点の事故発生件数、事故類型、事故原因等の内訳<sup>12)</sup>は、以下の表-6.6.1～表-6.6.3 に示すとおりである。

表-6.6.1 長崎県内の交差点における事故発生件数

順位	交差点名	路線	交通事故		
			件数	死者	傷者
1	打坂	国道206号	11	0	15
2	大波止	国道202号	11	0	12
3	長崎駅前南口	国道202号	11	0	11
4	赤迫電停前	国道206号	10	0	10
5	大橋	国道206号	9	0	10
6	山手バイパス入口	国道 35号	9	0	12
7	若葉町電停前	国道206号	8	1	7
8	北郵便局前	国道206号	8	0	10
9	脇崎	国道 35号	8	0	9
10	鹿子前入口	主要地方道	8	0	11

表-6.6.2 事故多発交差点の主な事故類型

順位	交差点名	主な事故類型				
		追突	右左折	出会頭	道路横断中	その他
1	打坂	3	4	3	0	1
2	大波止	4	2	0	4	1
3	長崎駅前南口	1	5	2	0	3
4	赤迫電停前	1	3	0	3	3
5	大橋	4	3	2	0	0
6	山手バイパス入口	8	0	0	1	0
7	若葉町電停前	2	2	0	1	3
8	北郵便局前	1	6	0	0	1
9	脇崎	5	2	0	0	1
10	鹿子前入口	2	3	0	2	1



表-6.6.3 事故多発交差点の主な事故原因

順位	交差点名	主な事故原因				
		安全不確認	動静不注意	前方不注意	歩行者保護	その他
1	打坂	5	1	1	0	4
2	大波止	1	1	1	4	4
3	長崎駅前南口	4	2	0	0	5
4	赤迫電停前	2	1	0	2	5
5	大橋	5	1	1	0	4
6	山手バイパス入口	0	8	0	1	0
7	若葉町電停前	1	2	3	0	2
8	北郵便局前	3	1	2	0	2
9	脇崎	2	0	6	0	0
10	鹿子前入口	4	1	0	0	3

#### 【交差点の比較条件】

空間周波数解析を行うに当たり、交通事故発生数が多い交差点とそうでない交差点を区別して比較を行うこととした。交通事故が多発している交差点は、長崎県警察本部の統計結果から長崎市内に絞って抽出した。交通事故が比較的少ないとされている地点については、はじめに交通量を調べ、その内から交通事故が多発している比較するための条件に合うものを選出した。

比較条件は、

- ① 交差点における歩道橋の有無
- ② 交差点における路面電車の軌道敷の有無

である。これらの条件を考慮すると、表－6.6.4 に示すような組み合わせとなった。

表-6.6.4 条件別交差点組み合わせ

(歩道橋、線路)	事故多い	事故少ない
①(有、無)	大橋	中央橋
②(無、有)	大波止	浜口
③(無、無)	打坂	東長崎
④(有、有)	長崎駅前	公会堂前

## 6. 6. 2 長崎市内の交差点におけるゆらぎ性評価

### (1) 長崎市内各交差点の画像とゆらぎ指数

長崎市内の各交差点においても、熊本市内と同様の手順で解析を行った。これら交差点の位置を図-6.6.1～図-6.6.4に図示し、代表的な交差点として大波止交差点と浜口交差点の解析画像を写真-6.6.1と写真-6.6.2に掲載する。

各交差点の流入方向（1～4）についてR・G・B・Gr別に周波数分解した画像からゆらぎ指数を求めた。前項の表-6.6.4に示した様に、長崎市内の交差点は歩道橋と路面電車の有無を条件として、交差点を2箇所1組にして解析結果を比較した。

- ・大橋交差点 — 中央橋交差点
- ・大波止交差点 — 浜口交差点
- ・打坂交差点 — 東長崎交差点
- ・長崎駅前南口交差点 — 会堂前交差点

一対とした交差点は、それぞれの条件ごとに対応するものである。事故が多発する箇所として取り上げている交差点は、それぞれ発生件数を記してあるが、それらと比較する各交差点については、同時期の事故発生件数が7件以下であることまでしか把握できなかった。交通量については、できるだけ事故多発交差点との差がつかないように、平日12時間交通量が1万台を超える道路を有している交差点を選出した<sup>13)</sup>。

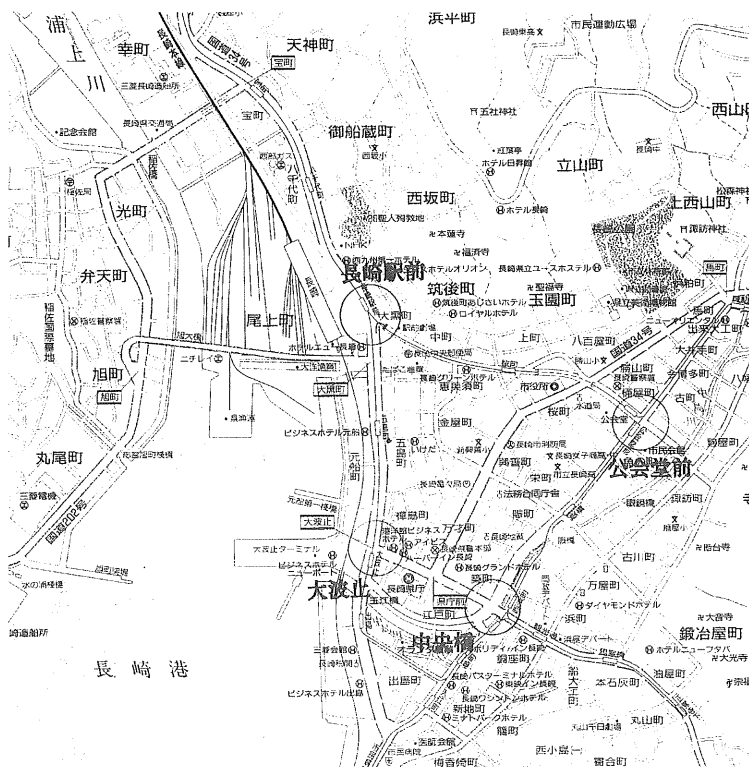


図-6.6.1 長崎市内の解析した交差点の位置（長崎駅前・大波止・中央橋・公会堂）<sup>14)</sup>

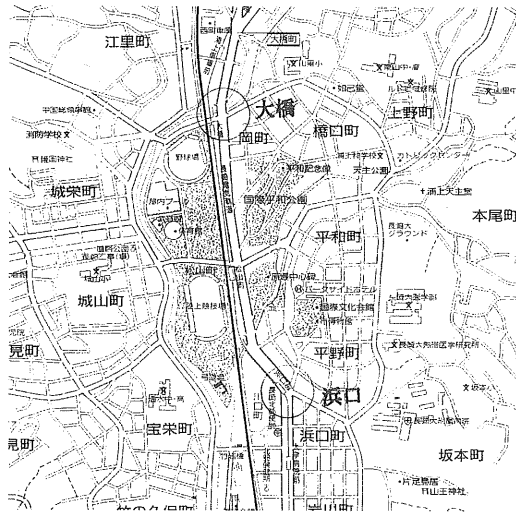


図-6.6.2 長崎市内の解析した交差点の位置（大橋，浜口）<sup>15)</sup>

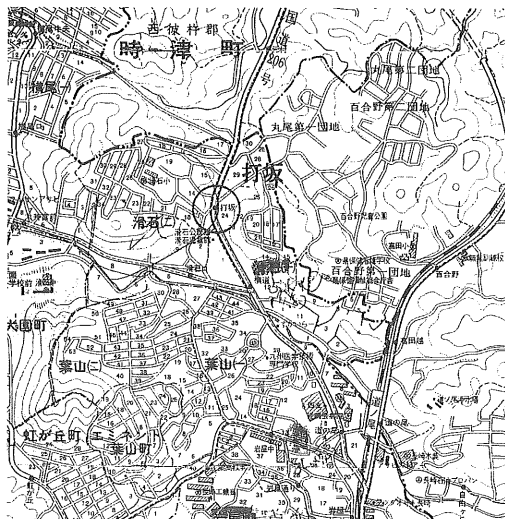


図-6.6.3 長崎市内の解析した交差点の位置（打坂）<sup>16)</sup>

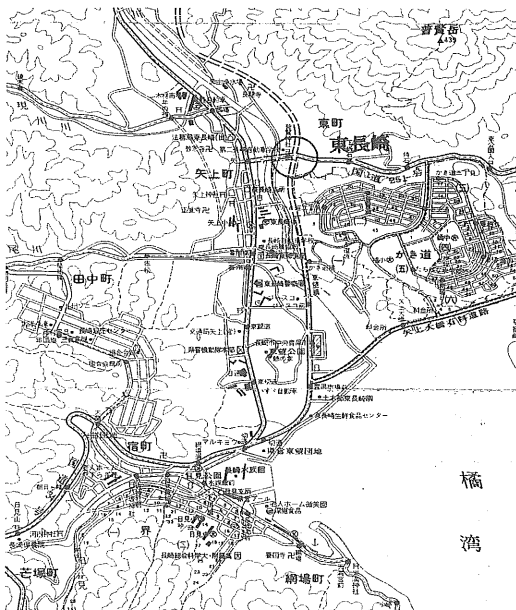


図-6.6.4 長崎市内の解析した交差点の位置（東長崎）<sup>17)</sup>





流入方向 1



流入方向 3



流入方向 2



流入方向 4

写真-6.6.1 大波止交差点の全景



流入方向 1



流入方向 3



流入方向 2



流入方向 4

写真-6.6.2 浜口交差点の全景

### 6. 6. 3 解析結果

長崎市内における、交通事故多発交差点とそうでない交差点について一組ずつ比較して以下に整理する．表-6. 6. 5～表-6. 6. 8 は熊本市内と同様の手順で作成したものである．

大橋交差点 — 中央橋交差点 (表-6.6.5 と図-6.6.5)

大波止交差点 — 浜口交差点 (表-6.6.6 と図-6.6.6)

打坂交差点 — 東長崎交差点 (表-6.6.7 と図-6.6.7)

長崎駅前交差点 — 公会堂前交差点 (表-6.6.8 と図-6.6.8)

いずれもゆらぎ指数の平均値を取り出し、色別（グレースケールにした R・G・B・フルカラー）ならびに各流入方向でまとめて表-6.6.5～表-6.6.8 に示す．表中色の付いてない欄は、熊本市の結果と同様に、ゆらぎ指数が最大値と最小値（斜体数字）を示した画像である．各交差点を一つの空間として捉えるため、ゆらぎ指数を散布図にして図-6.6.5～図-6.6.8 に示す．ゆらぎ指数自体、どの画像においても概ね 1.6～2.3 の間に分布しており、交差点ごとに特徴的な傾向があるわけではない．ゆらぎ指数は、周波数とパワースペクトルの関係（前出図-2. 4. 3）に照らすと、単調さを伺わせる値である．これは熊本市の結果と同様である．

各交差点における、最大ゆらぎ指数と最小ゆらぎ指数の差は以下のとおりである．ゆらぎ指数の後に記してある（ ）内の数値は交通事故発生件数である．

《交通事故多発交差点》	《交通事故 7 件以下の交差点》
・ 大橋交差点 $2.033 - 1.729 = 0.304$ (9)	・ 中央橋交差点 $1.942 - 1.546 = 0.386$
・ 大波止交差点 $2.075 - 1.662 = 0.413$ (11)	・ 浜口交差点 $2.168 - 1.606 = 0.562$
・ 打坂交差点 $2.025 - 1.641 = 0.384$ (11)	・ 東長崎交差点 $2.166 - 1.746 = 0.420$
・ 長崎駅前交差点 $2.322 - 1.731 = 0.591$ (11)	・ 公会堂交差点 $2.039 - 1.589 = 0.450$

長崎駅前交差点を除いて、交通事故発生件数が特に多い大橋、大波止、打坂の各交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が 0.304～0.413 と小さい値を示している．それに対して中央橋交差点を除く、交通事故件数の少ない浜口、東長崎、公会堂の各交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が 0.420～0.562 と大きい．つまり、ゆらぎ指数の分布幅で見ると、事故が多い交差点では分布幅が狭く、事故の少ない交差点では分布幅が広くなる傾向が見られた．

表-6.6. 5 大橋ー中央橋のゆらぎ指数（平均値）

大橋					
ゆらぎ 指数	流入方向	1	2	3	4
	R	1.923	1.983	1.912	2.033
	G	1.757	1.875	1.770	1.836
	B	1.772	1.872	1.729	1.844
	Gr	1.833	1.959	1.850	1.907

中央橋					
ゆらぎ 指数	流入方向	1	2	3	4
	R	1.942	1.743	1.852	1.863
	G	1.864	1.580	1.761	1.785
	B	1.880	1.546	1.726	1.707
	Gr	1.919	1.700	1.798	1.815

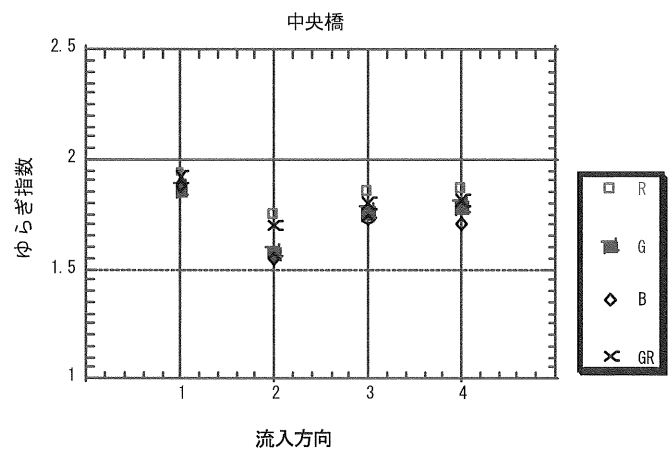
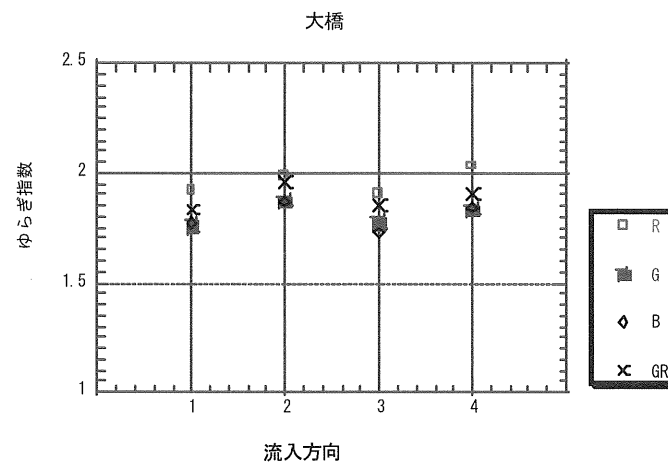


図-6.6.5 ゆらぎ指数の変化

表-6.6.6 大波止ー浜口のゆらぎ指数（平均値）

大波止

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	1.890	2.022	2.075	1.863
	G	1.758	1.844	1.920	1.686
	B	1.662	1.790	1.942	1.711
	Gr	1.815	1.900	2.028	1.821

浜口

流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	2.168	1.853	1.743	1.982
	G	2.076	1.758	1.606	1.851
	B	1.999	1.836	1.667	1.828
	Gr	2.142	1.831	1.679	1.912

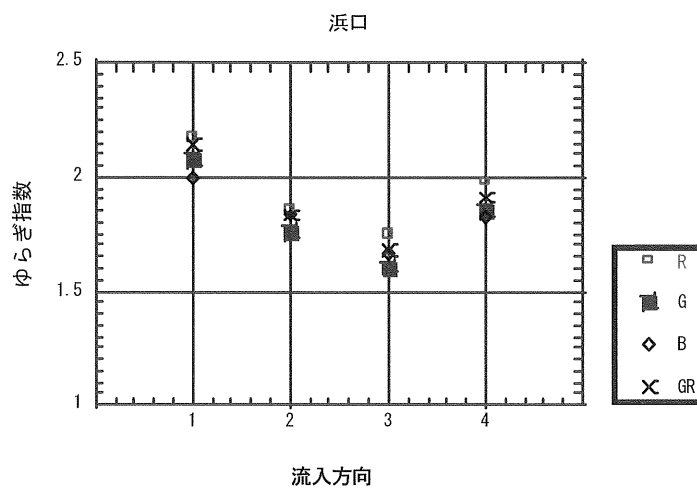
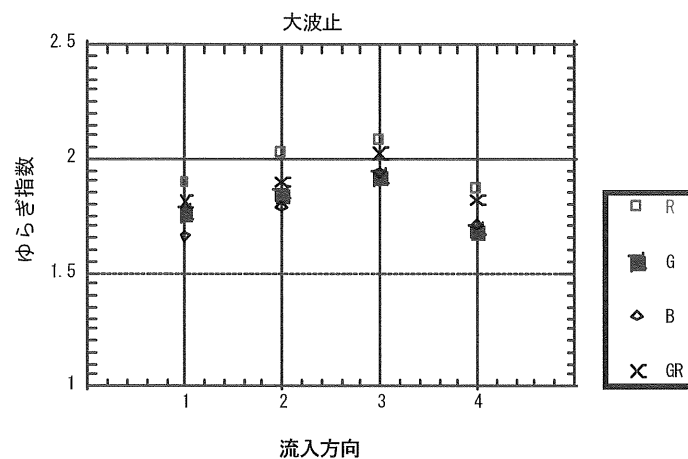
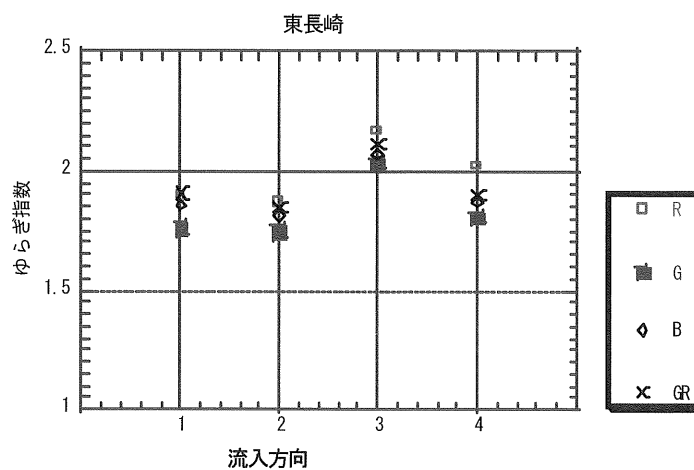
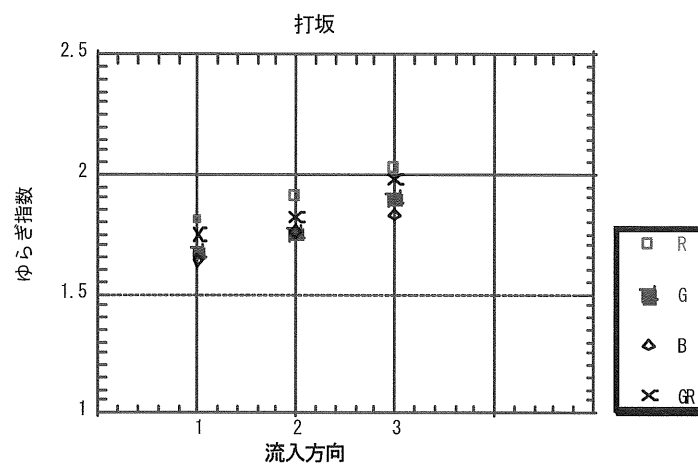


図-6.6.6 ゆらぎ指数の変化

表・6.6.7 打坂－東長崎のゆらぎ指数（平均値）

打坂		流入方向	1	2	3
ゆらぎ 指数	R		1.808	1.902	2.025
	G		1.676	1.753	1.899
	B		1.641	1.756	1.831
	Gr		1.744	1.817	1.978

東長崎		流入方向	1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R		1.898	1.864	2.166	2.021
	G		1.760	1.746	2.034	1.808
	B		1.856	1.815	2.071	1.870
	Gr		1.907	1.843	2.108	1.898



図・6.6.7 ゆらぎ指数の変化

表-6.6.8 長崎駅前－公会堂のゆらぎ指数（平均値）

駅前					
流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	2.001	2.322	2.004	1.903
	G	1.827	2.105	1.885	1.774
	B	1.807	2.045	1.771	1.731
	Gr	1.888	2.173	1.943	1.834

公会堂					
流入方向		1	2	3	4
ゆらぎ 指数	R	1.966	1.785	1.843	2.039
	G	1.808	1.589	1.648	1.822
	B	1.840	1.624	1.679	1.863
	Gr	1.870	1.726	1.721	1.893

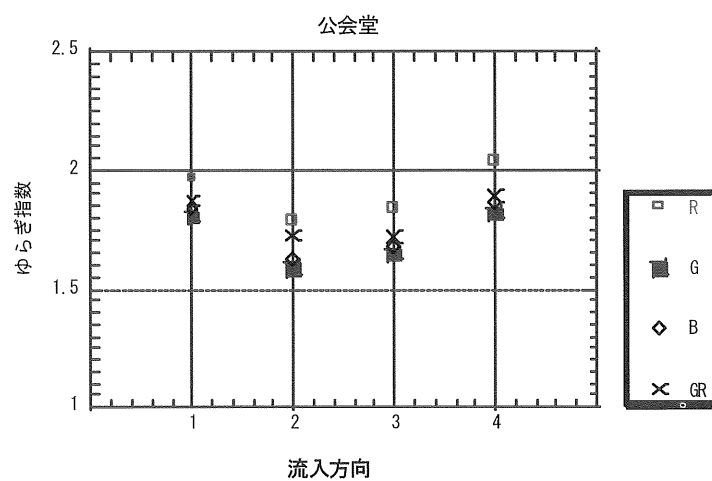
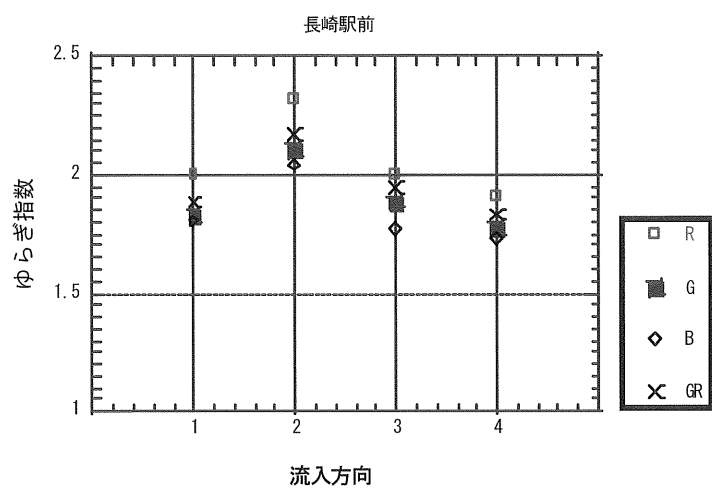


図-6.6.8 ゆらぎ指数の変化

この様に、一部の例外（長崎駅前交差点 と 中央橋交差点）を除くが、各交差点の解析結果を見れば、交通事故が多発している交差点において、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が小さく、反対に交通事故が割合少ない交差点の方は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が大きくなっていることが分かった。この傾向は熊本市内と同様の結果である。

## 6. 7 まとめ

交通事故の発生要因には多種・多様の原因が列挙される。その中で、運転時の視野に入る景観が運転者に与える影響が、交通事故原因の一要素になっているとも考えられる。そこで空間周波数解析を用いて、①交通事故が多発する地点と②そうでない地点で、運転者に与える影響について、それぞれの空間（景観）に何らかの違いがあるのではないかと考えた。

空間周波数解析は、熊本市内ならびに長崎市内の計12交差点について行った。その結果、両市の交差点ともに、ゆらぎ指数の傾向は似た結果であり、ゆらぎ指数から交差点特有の景観評価として以下の点が把握できた。

- ① 交通事故が多発している交差点では、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が小さく、反対に交通事故が割合少ない箇所として取り上げた交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差（幅）が大きくなっている。
- ② ゆらぎ指数の範囲幅が大きいほど、事故発生頻度は少なく、ゆらぎ指数の範囲幅が狭く、偏っているような空間（交差点）ほど、事故発生頻度は高い。

この結果からゆらぎ指数の分布範囲が示す意味を整理して、表-6.7.1に示す。

表-6.7.1 交差点空間とゆらぎ指数の関係

対 象		交差点での交通事故（人工空間での衝突）
構成要素		周辺構造物・道路面・往来する人・交通車両
ゆらぎ指数	幅が広い	人と物が混在 → 人が注意する → 事故が少ない
		空間要素が多様 → 変化が激しい → 気が許せない
	幅が狭い	人と物が一様 → 人の注意が乏しい → 事故が多い
		空間要素が一様 → 緩慢な変化 → 気持ちが緩む

これを要約すると、『交通事故が多い地点は、運転者の気が緩みやすくなる様な、空間要素が一様であり、事故の少ない地点は、要素が複雑なため、運転者の注意が集中しており、気が許せないことを示している。』と考えられる。



本研究は、交通事故が多発する交差点の空間情報を、空間周波数解析で定量化する試みである。交差点の交通事故のみならず、交通事故の発生要因は多岐に渡るが、交差点という空間をゆらぎ指数を用いてある程度特徴つけることができた。しかしながら、交差点の景観は、色調や構造物の形状ほか、視覚から得られる情報も多岐である。輝度から得たゆらぎ指数は交通事故と空間の一側面を評価しているが、さらに、前述した要素を取り入れることにより、交通事故と発生場所の関係がより明瞭になると考えられる。

最近の研究として、ヒヤリ地図作成が報告されている。ヒヤリ地図<sup>18)</sup>とは、「中央分離帯の切れ目で前の車が右折しようとして、急にブレーキを踏んだので追突しそうになった。」、「樹木の陰から歩行者が飛び出してきたので、慌ててブレーキを踏んだ。」など、道路を利用して一歩間違えば交通事故になるか、交通事故に遭わなくても“ヒヤリ”や“ハット”とした経験は誰にでもあるだろう。労働災害研究の世界におけるハインリッヒの法則というものがある。これは、「1 件の重大事故が発生する背景には、同じ事が原因で発生する 29 件の軽度事故と 300 件の“ヒヤリ”や“ハット”とした経験がある」というものである。つまり事故の影には多くの“ヒヤリ”や“ハット”が潜んでいるわけである。ヒヤリ地図とは、交通事故直前の“ヒヤリ”や“ハット”した経験を歩行者や自動車利用者から指摘してもらい、それを地図上に示したものである。このような空間も、交差点の交通事故と同様に、特徴的なゆらぎ指数の分布幅を有しているのではと推測される。

道路交通の安全性や快適性・利便性を向上する交通事故対策は、交通事故が発生してから、その状況を分析し、対策を行うのが常であった。道路施設の安全対策として取られる、道路照明、右折レーンの確保、路面標識、舗装改良等に対する効果を、マクロ統計的分析で行った研究報告<sup>19),20)</sup>もある。このような事故多発地点や“ヒヤリ”や“ハット”地点において、今回実施した空間周波数解析を行うことで、ゆらぎ指数の分布状況から、空間固有の特徴を分類・整理することで、安全対策工の効果を検討する際の一手法となることが考えられる。

## 第6章の参考文献

- 1) 警察庁 (1997) : 警察白書, 大蔵省印刷局, p. 48
- 2) 交通事故分析センター (1996) : 交通事故と運転者と車両の相関についての分析結果, pp. 4～5
- 3) 前述 2)
- 4) 前述 2)
- 5) 前述 2)
- 6) 澤喜司郎 (1997) : 交通安全論概説, 成山堂, p. 68
- 7) 熊本県警提供資料
- 8) 前述 7)
- 9) 前述 7)
- 10) 前述 7)
- 11) マップル広域版九州道路地図 (1989) : 昭文社, pp. 130～131
- 12) 長崎県警提供資料
- 13) 長崎県庁提供資料
- 14) マップル広域版九州道路地図 (1989) : 昭文社, pp. 128～129
- 15) 前述 14)
- 16) 前述 14)
- 17) 前述 14)
- 18) 道路空間高度化研究室 (2001) : ヒヤリ地図, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 43, No. 10, p. 16
- 19) 鹿野島秀行・三橋勝彦 (2000) : 事故多発地点における交通安全対策の効果分析, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 42, No7, pp. 38～43
- 20) 鹿野島秀行・三橋勝彦 (2000) : 交通事故データを用いた事故発生要因の分析, 土木技術資料, (財) 土木研究センター, Vol. 42, No7, pp. 44～49
- 21) 警察庁交通局 (1999) : 人にやさしい運転, (財) 全日本交通安全協会, 80p.
- 22) 警察庁交通局 (1999) : 交通の教則, (財) 全日本交通安全協会, 96p.
- 23) 小野寺明 (2000) : 空間周波数解析による交通事故多発交差点のゆらぎ性評価, 長崎大学工学部卒業論文, 123p.

## 第7章 公園景観に関するゆとり環境の評価

### 7. 1 はじめに

ビルやアスファルトで覆われた都市空間において、公園はさまざまな効用・機能を持っている。公園の樹木や芝は都市域における重要な生物の生息環境場であり、また、都市で生活する人々のストレスを解放し、やすらぎを見出すことのできる重要な空間である。そのほかにも、火災や地震時の避難場所としての防災機能や、樹木による大気清浄化の効用、景観保全など公園の有する効用・機能は多岐に渡っている。

今後急速に進展すると予想される人口の高齢化にともなって、高齢者の更なる公園の利用が考えられる。一方で、身体障害者などの社会的な弱者の利用も考えなければならない。福祉のまちづくり条例が各県や政令指定都市で施行されたことにより、現在、社会資本の各施設において、障壁（バリア）の除去が行われ始めている。しかし、現在行われているバリアフリー対策は、今一步のところで工夫と配慮が不足しているのが現状である。

また、さらには障害者のための配慮だけではなく、誰もが使い、楽しめる配慮、つまりはノーマライゼーションの世界が求められている。特に公園において人々は、公園の自然を、目や耳、鼻など五感を使って感じ取るのであるが、その中でも視覚は、樹木や芝の緑、噴水などを感じ取る時に重要な位置を占める。この様に、五感を使って楽しむことのできる公園施設づくりが近年盛んに行われており、大阪府については福祉のまちづくり条例が施行される以前から、誰もが楽しめる施設づくりを目指している。

このように公園の景観というものは重要性を増してきている。人工物が多い都市域において、公園の景観は緑や噴水などの水の存在により、人に落ち着きをもたらすのである。しかし、公園の景観はどれも落ち着きのあるものとは限らない。また、公園の周囲についても、コンクリートのビルやアスファルト道路に囲まれた公園もあれば、河川や湖と接している公園などもあり、それらのさまざまな要因や公園設計思想から、公園によって景観は異なったものとなってくる。例えば、まるで森のように樹木の生い茂った公園や、植栽が最小限に限られた公園、整然とした公園などあり、緑の量もさまざまである。

本章では、空間周波数解析を行って得られるゆらぎ指数が、“ $1/f$  ゆらぎ”に近いほど人に好まれるということが、これまでの研究で指摘されている点<sup>1), 2)</sup>に着目し、公園の景観を撮影した写真について空間周波数解析を行った。そして、ゆらぎ指数を比較することによって、どのような公園の景観が人に心地よさを与えるのか、についての定量化を試み、考察したものである。

本研究では、大都市の公園として福岡市の中心部に当たる天神地区の旧県庁跡地に作られた天神中央公園と地方都市の児童公園として、長崎市の市街地にある中園公園の改修前後の景観を対象として、空間周波数解析から得られるゆらぎ指数から景観分析を行ったものである。

## 7. 2 天神中央公園の景観評価

### 7. 2. 1 公園の概要

福岡市の天神中央公園は、周囲が自然に囲まれた公園ではなく、都市空間の中に存在している。福岡市の天神地区は全国的にも著名な繁華街を形成しており、旧県庁跡地の再開発として整備された天神中央公園はそのほぼ中央に位置し、地下に駐車場を配した公園である。公園周囲の状況は、西や南方向は様々な商業、行政等のビル群が林立し、北方向は階段状の多目的ホールビルで、壁面に植栽が施されたアクロス福岡、東方向は那珂川に合流する薬院新川が流れる立地条件である。公園並びに周囲の状況を図-7.2.1に示す。

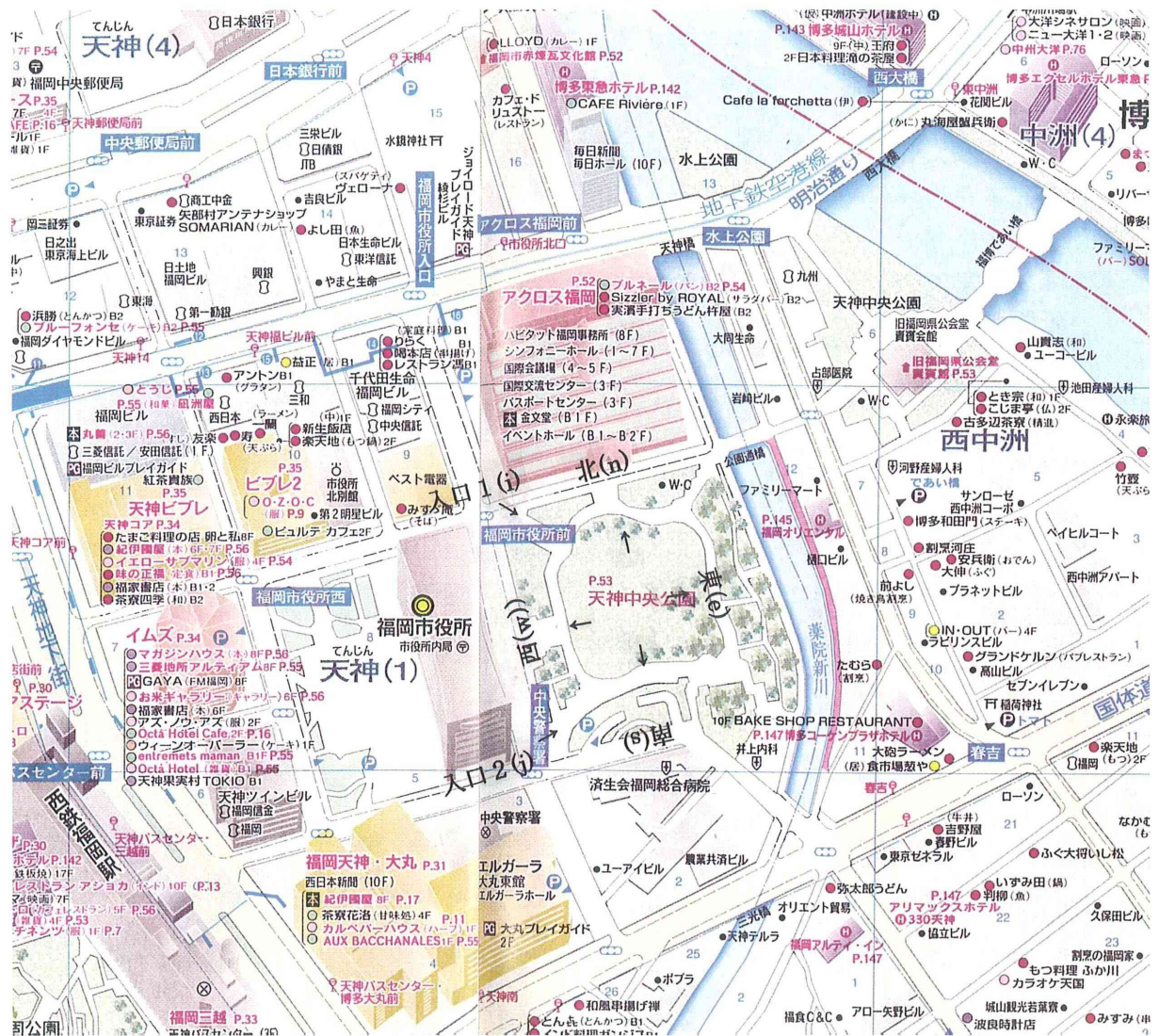


図-7.2.1 天神中央公園周辺の状況<sup>3)</sup>

### 7. 2. 2 解析の手順

解析に用いた写真画像は、撮影方向全体とその画像に含まれる樹木、芝、ビルなどの景観要素から構成されている。写真画像は、公園中央から東西南北の4方向と公園入口から公園中央の方向を撮影した2方向の計6枚を使用した。また、各写真から樹木部分、芝部分、ビル部分など、公園景観を構成する要素を抽出し、それぞれの写真から7枚ずつの画像についても解析を行った。なお、解析画像名は以下の様に表示した。

- ・東方向は **e** として表し薬院新川を挟んで中洲方面である。
- ・西方向は **w** として表し福岡市役所側である。
- ・南方向は **s** として表し済生会福岡総合病院側である。
- ・北方向は **n** として表しアクロス福岡側である。
- ・公園への入口1は **i**，入口2には **j** をそれぞれ画像名の頭に付けた。

空間周波数解析の手順は第2章に述べたとおりである。ならびに周波数分析から求められるゆらぎの種類は、第2章の図-2.4.3に示す様に分類される。

### 7. 2. 3 解析結果

解析に用いた画像のうち、東・西・南・北方向の解析画像と解析結果を写真-7.2.1～写真 7.2.16 ならびに図-7.2.3～図-7.2.18 に示す.

- (Ⅰ) 東方向 (e) は薬院新川を挟んで中洲方面であり、全体画像, 空 1, 空 2, ビル, 樹木 1, 樹木 2, 芝 1, 芝 2, の 8 画像について解析した.
- (Ⅱ) 西方向 (w) は福岡市役所側であり、全体画像, 樹木 1, 樹木 2, 芝 1, 芝 2, 芝 3 とコンクリート構造物, ビル 1, ビル 2, の 8 画像について解析した.
- (Ⅲ) 南方向 (s) は済生会福岡総合病院側であり、全体画像, 樹木 1, 樹木 2, 芝 1, 芝 2, ビル 1, ビル 2, 空とビル, の 8 画像について解析した.
- (Ⅳ) 北方向 (n) はアクロス福岡側であり、全体画像, 樹木 1, 樹木 2, 芝, アクロス緑地, アクロス緑地と空, アクロス緑地とガラス, アクロスのコンクリート面, の 8 画像について解析した.
- (Ⅴ) 入口方向 (i) は、全体画像, 樹木 1, 樹木 2, 樹木 3, 樹木と空, 地面, 花壇 1, 花壇 2, の 8 画像について解析した.
- (Ⅵ) 入口方向 (j) は、全体画像, 樹木 1, 樹木 2, 樹木 3, 樹木, 花壇, 案内版, 空, の 8 画像について解析した.



# I. 東方向 (e) の解析結果

(1) 全体 (e)



写真-7.2.1 全体 (e) の解析写真

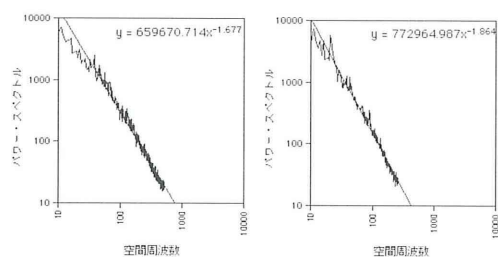


図-7.2.3 全体 (e) のグレースケールの解析結果

表-7.2.1 全体 (e) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.677	1.669	1.541	1.197
垂直方向	1.664	1.919	1.758	1.545

(3) 空2 (e)



写真-7.2.3 空2 (e) の解析写真

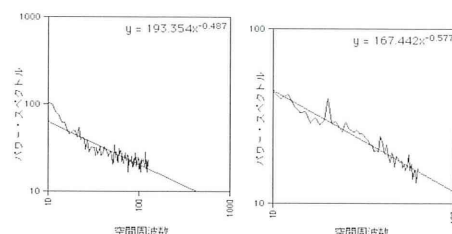


図-7.2.5 空2 (e) のグレースケールの解析結果

表-7.2.3 空2 (e) の解析結果

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	0.487	0.409	0.348	0.180
垂直方向	0.577	0.683	0.480	0.402

(2) 空1 (e)

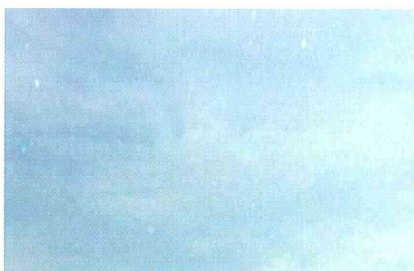


写真-7.2.2 空1 (e) の解析写真

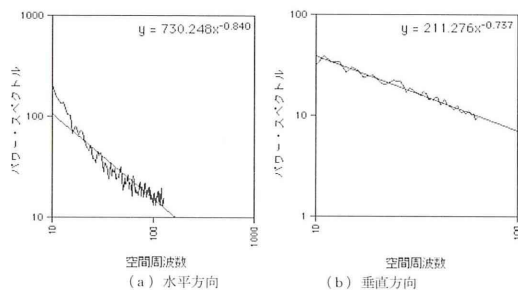


図-7.2.4 空1 (e) のグレースケールの解析結果

表-7.2.2 空1 (e) の解析結果

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	0.846	0.788	0.619	0.184
垂直方向	0.737	0.815	0.589	0.449

(4) ビル (e)

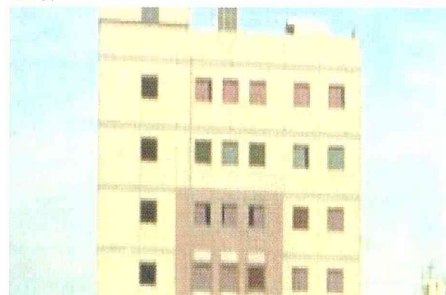


写真-7.2.4 ビル (e) の解析写真

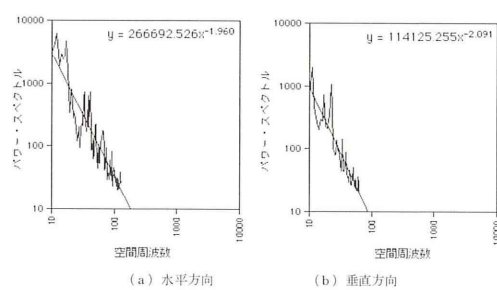


図-7.2.6 ビル (e) のグレースケールの解析結果

表-7.2.4 ビル (e) の解析結果

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.960	1.832	1.758	1.153
垂直方向	2.091	2.026	1.822	1.206

## II. 西方向 (w) の解析結果

### (1) 全体 (w)



写真-7.2.5 全体 (w) の解析写真

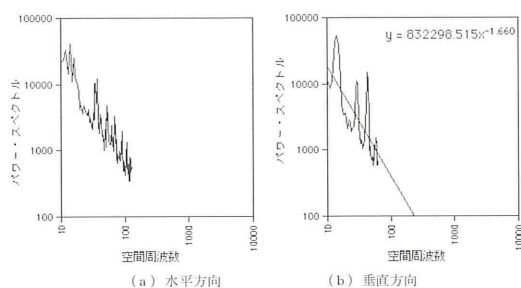


図-7.2.7 全体 (w) のグレースケールの解析結果

表-7.2.5 全体 (w) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.693	1.635	1.450	1.788
垂直方向	2.027	1.840	1.774	1.976

### (3) w 樹木2



写真-7.2.7 w 樹木2の解析写真

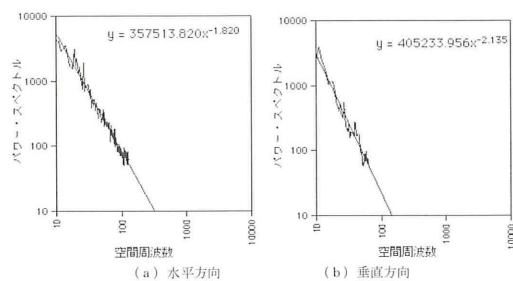


図-7.2.9w 樹木2のグレースケールの解析結果

表-7.2.7 w 樹木2のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.820	1.715	1.674	1.826
垂直方向	2.135	1.993	1.934	2.072

### (2) 樹木1 (w)



写真-7.2.6 樹木1 (w) の解析写真

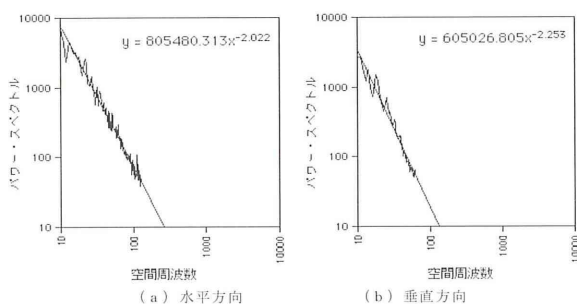


図-7.2.8 樹木1 (w) のグレースケールの解析結果

表-7.2.6 樹木1 (w) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	2.022	1.861	1.851	1.998
垂直方向	2.253	2.091	2.076	2.202

### (4) 芝1 (w)



写真-7.2.8 芝1 (w) の解析写真

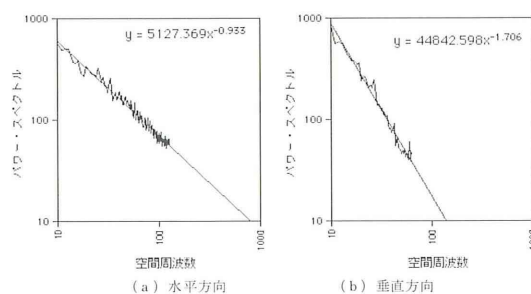


図-7.2.10 芝1 (w) のグレースケールの解析結果

表-7.2.8 芝1 (w) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	0.933	0.843	0.687	1.001
垂直方向	1.706	1.608	1.327	1.847



### Ⅲ. 南方向 (s) の解析結果

#### (1) 全体 (s)



写真-7.2.9 全体 (s) の解析写真

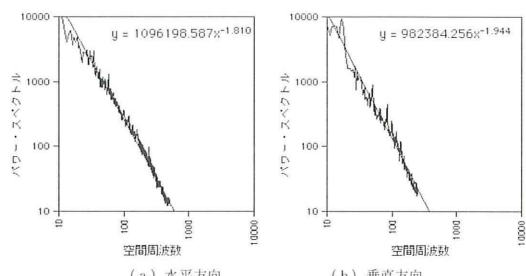


図-7.2.11 全体 (s) のグレースケールの解析結果

表-7.2.9 全体 (s) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.810	1.763	1.654	1.498
垂直方向	1.944	1.982	1.836	1.750

#### (3) 樹木 2 (s)



写真-7.2.11 樹木 2 (s) の解析写真

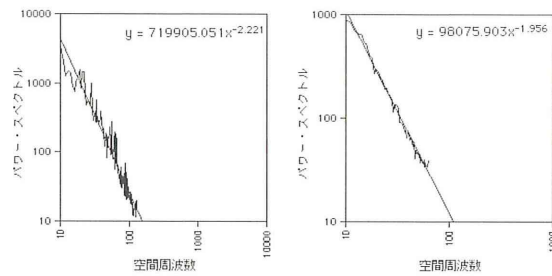


図-7.2.13 樹木 2 (s) のグレースケールの解析結果

表-7.2.11 樹木 2 (s) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	2.221	2.319	2.078	2.097
垂直方向	1.956	1.964	1.913	1.886

#### (2) 樹木 1 (s)



写真-7.2.10 樹木 1 (s) の解析写真

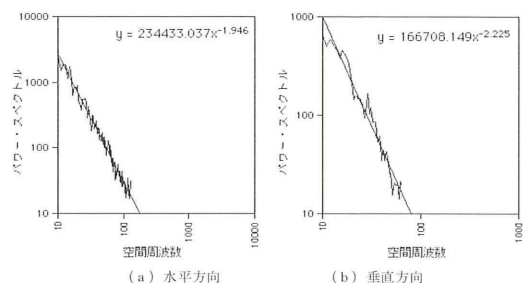


図-7.2.12 樹木 1 (s) のグレースケールの解析結果

表-7.2.10 樹木 1 (s) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.946	1.908	1.847	1.702
垂直方向	2.225	2.202	2.137	1.718

#### (4) 芝 1 (s)



写真-7.2.12 芝 1 (s) の解析写真

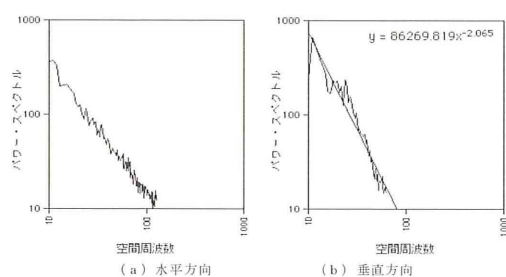


図-7.2.14 芝 1 (s) のグレースケールの解析結果

表-7.2.12 芝 1 (s) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.343	1.340	1.136	0.991
垂直方向	2.065	2.211	1.846	1.773

#### IV. 北方向 (n) の解析結果

##### (1) 全体 (n)



写真-7.2.13 全体 (n) の解析写真

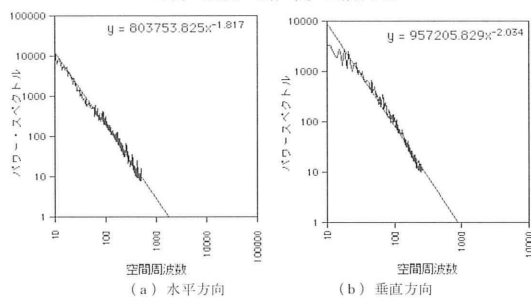


図-7.2.15 全体 (n) のグレースケールの解析結果

表-7.2.13 全体 (n) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.817	1.759	1.696	1.496
垂直方向	2.034	2.115	1.919	1.795

##### (3) 樹木 2 (n)



写真-7.2.15 樹木 2 (n) の解析写真

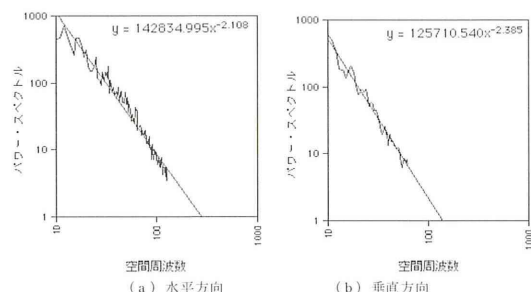


図-7.2.17 樹木 2 (n) のグレースケールの解析結果

表-7.2.15 樹木 2 (n) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	2.108	2.065	1.992	1.836
垂直方向	2.385	2.477	2.254	2.120

##### (2) 樹木 1 (n)



写真-7.2.14 樹木 1 (n) の解析写真

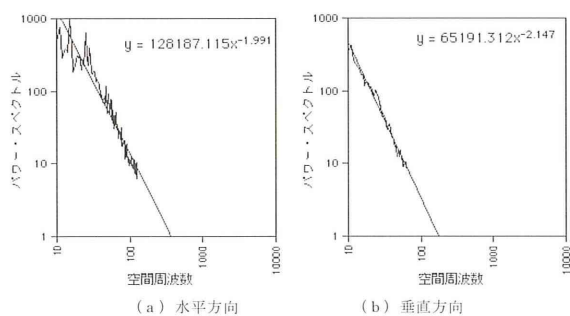


図-7.2.16 樹木 1 (n) のグレースケールの解析結果

表-7.2.14 樹木 1 (n) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.991	1.985	1.835	1.795
垂直方向	2.147	2.195	2.014	1.837

##### (4) 芝 (n)



写真-7.2.16 芝 (n) の解析写真

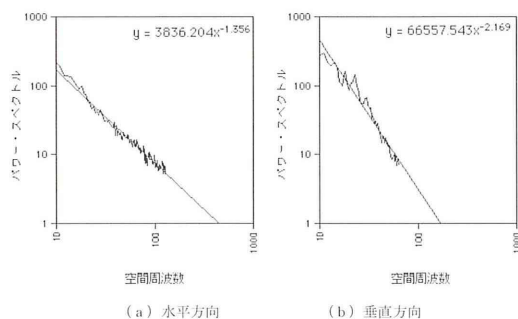


図-7.2.17 芝 (n) のグレースケールの解析結果

表-7.2.16 芝 (n) のゆらぎ指数

	グレースケール	赤	緑	青
水平方向	1.356	1.397	1.160	1.102
垂直方向	2.169	2.378	1.924	1.980

#### 7. 2. 4 考察

解析結果を整理して、横軸に水平方向、縦軸に垂直方向のゆらぎ指数をとった分布図を図-7.2.19～図-7.2.24に示す。図中には、それぞれ要素（成分）別に記号を分けてグラフ化した。

図-7.2.19に示す様に、全体画像の水平方向のゆらぎ指数は1.667～1.827、垂直方向のゆらぎ指数は1.864～2.074となった。ともに人に心地よいといわれる1よりもかなり高い値を示しており、画像が単純な変化をしていることが分かる。図からも分かるようにゆらぎ指数は、ほとんどの画像が1.5を超える結果となった。既往文献にも、写実的なものや、写真はそのほとんどが2.0に近い傾向があると報告されている<sup>2)</sup>ことと同様の結果となった。

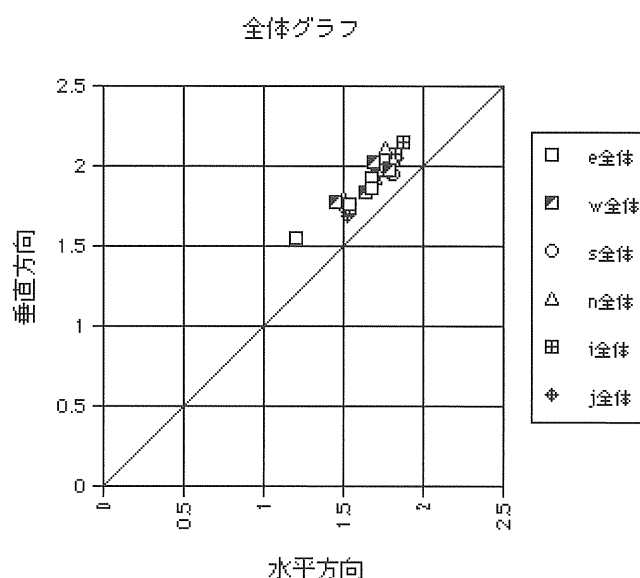


図-7.2.19 全体画像のゆらぎ指数の分布

景観を構成する要素（成分）として空、ビル、樹木、芝がある。それぞれの要素がもつゆらぎ指数の解析結果と特徴は以下のとおりである。

## I. 景観としての空

空のみを抽出した画像のゆらぎ指数を図-7.2.20 に示す. 東方向に広がる e 空 2 は, 水平方向の値が 0.487, 垂直方向が 0.577 であり, 他のどの構成要素と比べても最も低い値を示している. ゆらぎ指数が 1.0 より低い値ということは, 複雑でランダムな変化をしているということができる. 空はその時々によって, 雲一つない日本晴れ, 雲がぽつぽつとある状態, 一面黒い雲がかかっているなど, さまざまな状態が考えられる. 写真撮影時における空の状態は, 天空一面に薄っすらと雲がかかった水色の状態であった. その値のすべてが 0.5~1.5 の範囲に分布しているが, 指数が 1 を越えているのは入口 j から見た空の垂直方向の画像であり, それ以外は 1 以下を示し, 全体としては複雑な構造であることを示している. これは空を構成する輝度の変化を表していると考えられる.

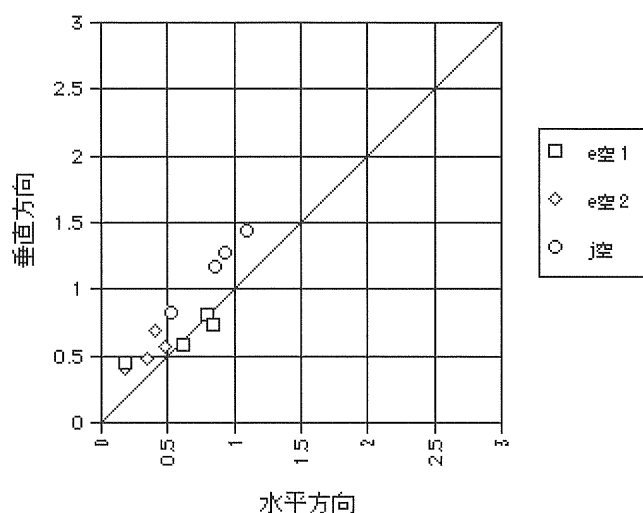


図-7.2.20 空のゆらぎ指数の分布

## II. 景観としてのビル (構造物)

ビルの画像は東側に林立するビル群である. 画像 e ビルは, 水平方向が 1.960, 垂直方向が 2.091 と共に 2.0 近く, 以下に述べる樹木などの要素と比べて違いは見られない. しかし, 図-7.2.6 や図-7.2.7 のビルを含んだ解析結果図をみると, 水平方向, 垂直方向ともパワースペクトルが周波数に対して縦軸方向に大きく振れていることが判る. 他の要素についてはその傾向がほとんど見られないことから, ビルだけにみられる特徴と考えることができる. ビルのゆらぎ指数の分布を示した図-7.2.21 をみると, 西方向のビル 1 以外は, ほぼ全てにおいて, 水平方向と垂直方向のゆらぎ指数が 1:1 の直線の上に位置している. また, ゆらぎ指数は 1.5 から 2.0 の範囲にあるものが多い. 樹木などの分布と比べると 2.0 を超えているものはほとんどなく, ビルは樹木と比べてより複雑であることを示している. 一見ビルというのは単純な構造であり, ゆらぎ指数が高くてもおかしくないと思われる. その理由として, わずかずつ上下方向に遠近の差があることが影響し, 解析結果が比較的

低い値になったと考えられる。また、他の成分に比べ、ここまで直線状に密集しているものがないため、これもビル特有の性質といえることができる。

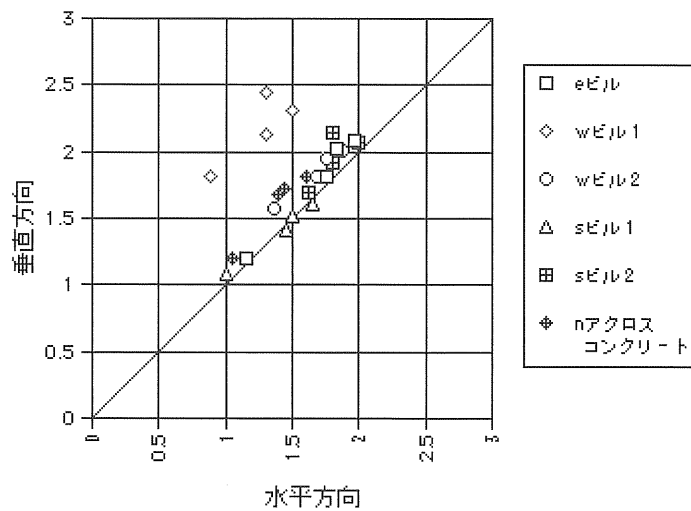


図-7.2.21 ビルのゆらぎ指数の分布

### III. 景観としての樹木

樹木についてみると、e 樹木 1 は、水平方向が 1.957 で垂直方向は 2.134 であり、ともに 2 に近い値を示した。樹木のゆらぎ指数の分布図を示した図-7.2.22 をみると、それぞれのゆらぎ指数は、水平方向と垂直方向の値が 2.0 を中心として、その周りに偏っていることが判る。このことから、樹木は水平方向と垂直方向の両方ともにバランス良く、かつ 2.0 に近い分布をすることが判った。

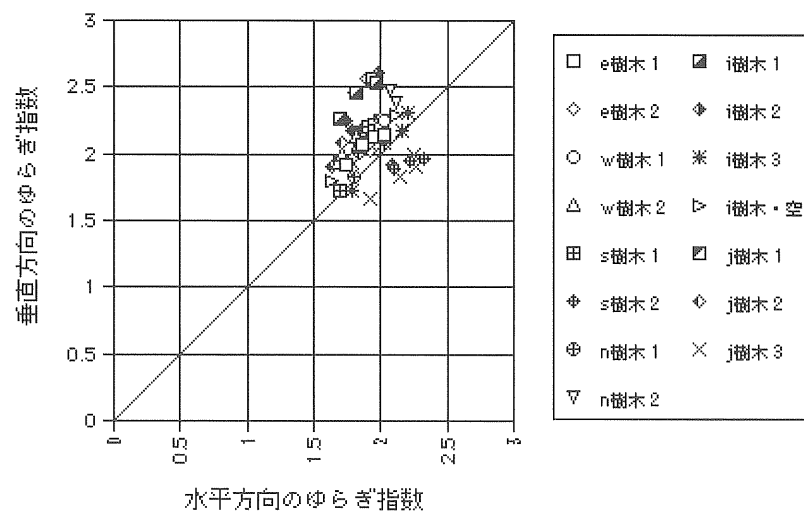


図-7.2.22 樹木のゆらぎ指数の分布

#### IV. 景観としての芝

芝についてみると、e 芝 1 は、垂直方向が 2.309 と高い値を示したのに対し、水平方向は 1.446 と低い値のため、垂直方向と水平方向のゆらぎ指数の差が 0.863 と大きな範囲を示す結果となった。

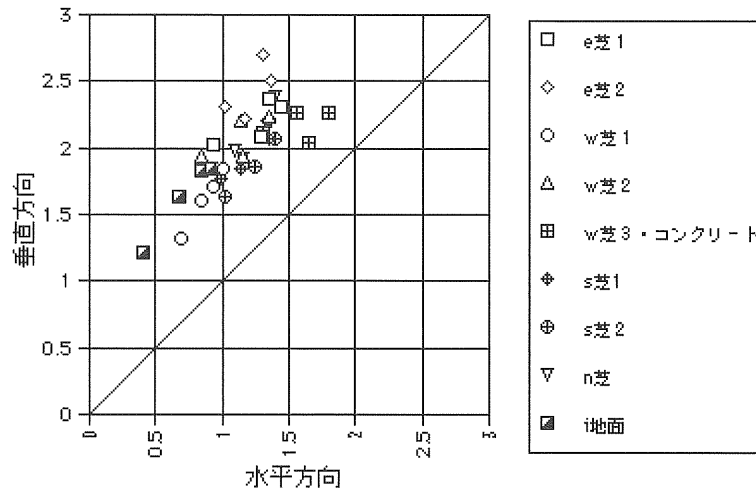


図-7.2.23 芝のゆらぎ指数の分布

ゆらぎ指数の分布を示す図-7.2.23 をみると、水平方向と垂直方向の差が大きく、全ての画像で垂直方向がかなり高くなっている。芝を真上から見た画像の場合、水平方向や垂直方向で違いはないと考えられる。今回の解析結果を得た理由として、芝の解析画像が、芝を手前から向こう側へ向かって奥行きをもつ、立体的な構造として撮影されていることが原因と考えられる。つまり、芝そのものの構造は水平方向の結果が示すとおり複雑であるが、垂直方向に関しては手前から向こう側へ向かうにしたがい、遠近法により芝が小さく見えることから、垂直方向に関しては水平方向よりも単純な構造を示す結果になったと思われる。

e 芝 1・e 芝 2・n 芝は特に垂直成分のゆらぎ指数が 2 以上を示している。これは水平方向に走っている小道の存在が影響し、同じ芝でも高い数値を示したと思われる。また、北方向のアクロス緑地を解析した画像（n アクロス緑地）は、水平方向が 1.984 と樹木や芝と比べてさほど変わらないのに対し、垂直方向は 2.753 と極端に高く、その構造が高さ方向にかなり単純であることが判る。現地状況を見ると、水平方向に比べて垂直方向に植物が階段状に配されている。このように人工構造物の表面上に植栽が配されていることが、このような結果につながったと考えることができる。なお、高さ方向に単純なアクロス緑地にガラスや空が入った画像を解析すると、当然その構造はより複雑になり、水平方向に関しては 1.492 や 1.668 と低い値を示した。

#### V. 景観としての緑地

樹木と芝以外の緑地の分布を示した図-7.2.24 をみると、いずれも垂直方向の方が高い

値を示している．ただし，芝のように水平方向の値が極端に低い結果は示していない．  
アクロス福岡の緑地については上述したように，高さ方向の造りが階段状の構造であるため，垂直方向について特に値が高くなっているのが良く分かる．

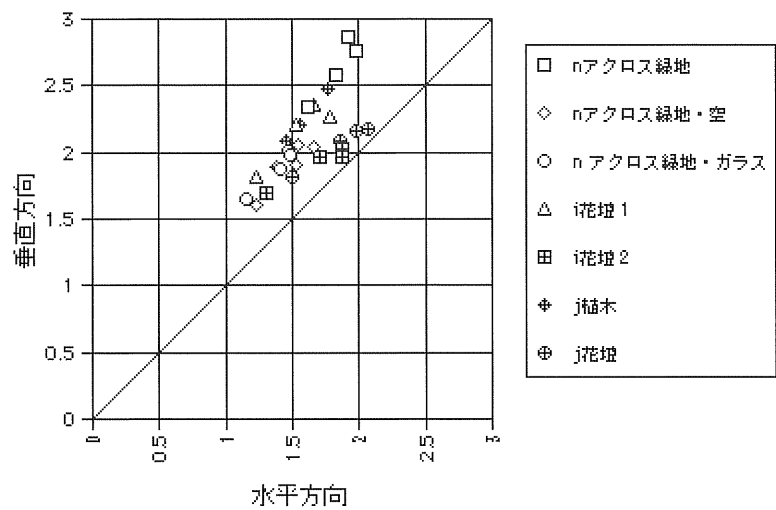


図-7.2.24 緑地のゆらぎ指数の分布

## VI. まとめ

利用者の受ける公園景観の特徴について、ゆらぎ指数を用いた景観評価を実施し、公園景観の定量的評価を行った。その結果、以下の傾向が把握できた。

- ①空間周波数解析により、樹木や芝など自然物のゆらぎ指数は2に近い値を示した。
- ②景観としてのビルは、ゆらぎ指数が低く、水平方向と垂直方向がほぼ同じ値になる傾向を示すことが判った。
- ③人工構造物上に配された緑地（植栽）は、自然な状態よりもゆらぎ指数が低く単純な構造を示す結果となった。
- ④赤・青・緑の色成分毎の特徴には未知の部分があるものの、緑色成分の減少する画像では全体的にゆらぎ指数が上がり、地面の色が明るくなった画像では、赤色成分以外の色のゆらぎ指数は下がる傾向を示した。

この様に、景観の輝度変化による空間周波数解析を行うことで、人工構造物や自然的な配置物など景観を構成する要素の違いにより、ゆらぎ指数にそれぞれ固有の特徴を持つことがある程度把握できた。

本研究では、天神中央公園を取り上げて、輝度変化からその特徴を把握した。公園のみならず、景観を構成する構造物や樹木の配置により、人が受ける見え方、感じ方が異なり、それぞれ固有の景観を作り上げている<sup>4), 5)</sup>。日本の都市域は、ビルがそびえ立つのが常となっているが、緑地や植栽が配されているかどうかは、地域や公園の種類によって大きな違いがある。都市公園は、目的に応じて様々な設計様式で作られているため、多くの公園景観の評価に対応するには、景観を構成する樹木や施設などの要素の割合や、その配置が変わることで全体の画像にどのような影響を及ぼすのかなどについて、詳しく解析する必要がある。また、今後更に多くの公園景観を解析・整理することで、様式化された公園景観をゆらぎ指数を用いてその特徴を定量化させ、都市公園の新設時や再整備時にゾーニングや配置計画の検討において、画一的でない公園設計に反映させる一指標になると考える。



### 7. 3 長崎市中園公園の整備前・後における景観変化の評価

#### 7. 3. 1 中園公園の概要

中園公園は、住吉電停と赤迫電停の間に位置し、国道 206 号線に面するガソリンスタンドの裏手にあたる小規模な児童公園で、周囲には民家が建ち並ぶ。本公園は 1999 年 3 月に整備が行われた。整備前の公園は、樹木が生い茂り、中低木も樹高が伸びて公園内は見通しが悪く、薄暗い雰囲気を持つほどであった。整備後は、樹木が間引きされ、樹木以外の植栽は樹高の低いものとなり、外からも公園の様子がよく見えるようになった。また、再整備前に砂利であった地面はクレイ舗装(土の舗装)になり、カラー舗装もピンク色で、明るい公園へと変わった。公園内の遊具の配置は基本的には再整備前と変わっていない。遊具の数は以前より減ったものの、既存の遊具を補修再利用したものが多い。

この様に整備前の公園は樹木と中低木などの緑が生繁っており、暗い感じのする公園であったが、整備後は緑の量が少し減ったが同時に見通しが良くなり、公園のイメージも明るいものへと変わった。

本章では、中園公園の整備前後の景観について空間周波数解析を行い、ゆらぎ指数を比較することによって、利用者がどの様に感じるかを評価した。使用した写真は、整備前が 1997 年 7 月 4 日、整備後が 1999 年 9 月 14 日に撮影したものである。撮影箇所は図-7.3.1 に図示した矢印の方向であり、それぞれ再整備前と再整備後の写真について解析した。

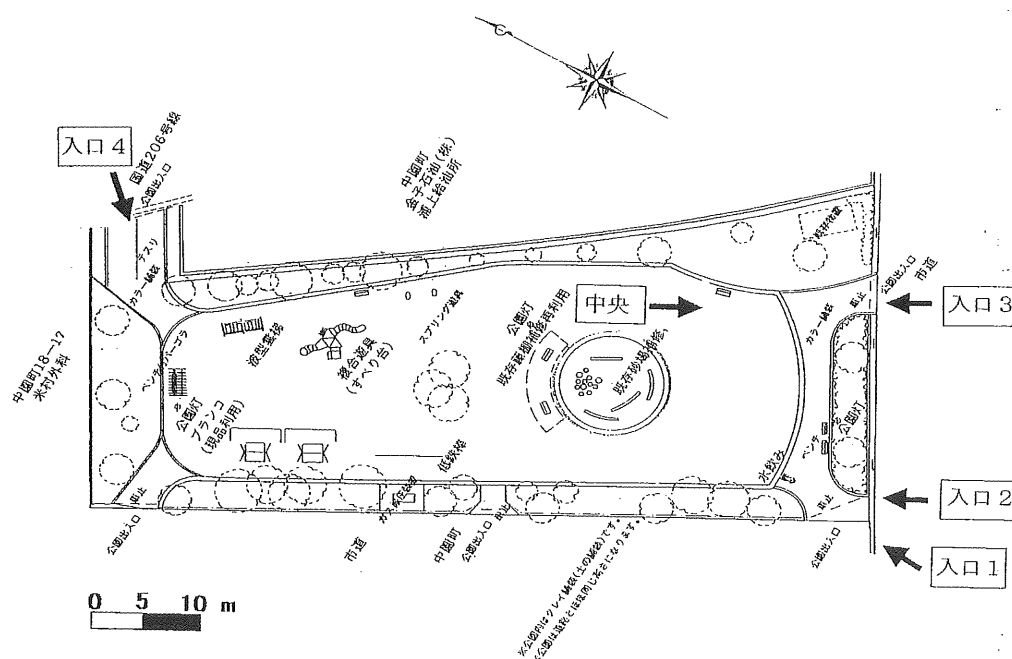


図-7.3.1 中園公園平面図と写真の撮影方向<sup>6)</sup>

### 7. 3. 2 解析結果とまとめ

いずれの公園入口も、国道 206 号には直接面してなく、ガソリンスタンドが公園の北東面に接している。入口 4 は、国道から公園に入るための入口に相当する。入口 1～入口 3 は、国道につながる市道に面している。解析は各入口から見た整備前・後の画像について実施した。

#### I. 入口 1 から見た景観の変化

入口 1 から見た整備前の景観を写真-7.3.1 に示す。整備前は入口から見える景観のほとんどが樹木や中低木の緑で覆われており、緑以外のものは手前の道路と空の部分くらいである。それに比べて整備後の写真-7.3.2 を見ると、全体に緑の量が大幅に減り、代わって公園内の地面や背景である公園背後の山や建物、そして空が多くを占めている。

入口 1 の景観におけるゆらぎ指数を表-7.3.1 に示す。垂直方向が整備前は 1.854 であるのに対し、整備後は 2.044 と 0.190 も高くなった。ゆらぎ指数の値が高くなったということは、画像の規則性が増し、より単純な景観へ変化したということを意味する。

整備前・後のゆらぎ指数の比較を示した図-7.3.3(a) を見ると、どの色成分においても再整備後にゆらぎ指数が上がったことが判る。また、赤成分については、他の成分と比べてもその上昇率が大きい結果となった。また、入口 1 の水平方向や後述する入口 2 についても同様の結果を得た。これは、解析写真において樹木などの緑の減少が、ゆらぎ指数の上昇につながったものと思われる。また、横軸に水平方向、縦軸に垂直方向のゆらぎ指数をプロットした図-7.3.2 見ると、赤や緑など各色成分のゆらぎ指数の偏りは、整備前は数値が近く一箇所に集中している。しかし、整備後は右上方に移動するとともに、点が拡散していることが分かる。つまり各色成分によって、ゆらぎの種類に幅ができたということである。

(a) 再整備前



写真-7.3.1 入口 1 再整備前の様子

(b) 再整備後



写真-7.3.2 入口1再整備後の様子

表-7.3.1 入口1再整備前の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.637	1.575	1.555	1.530
垂直方向	1.854	1.788	1.747	1.678

表-7.3.2 入口1再整備後の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.763	1.880	1.663	1.707
垂直方向	2.044	2.251	1.937	1.902

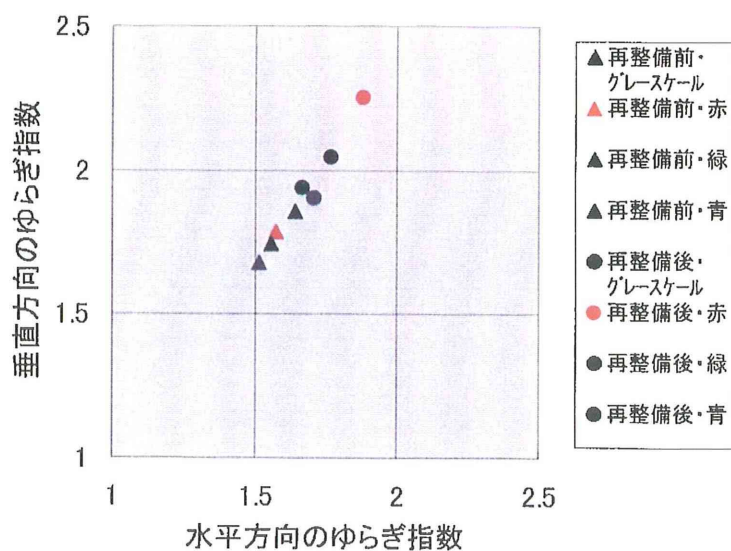
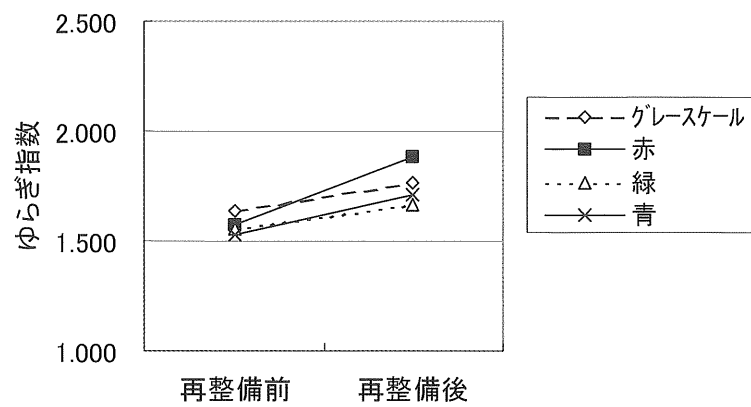
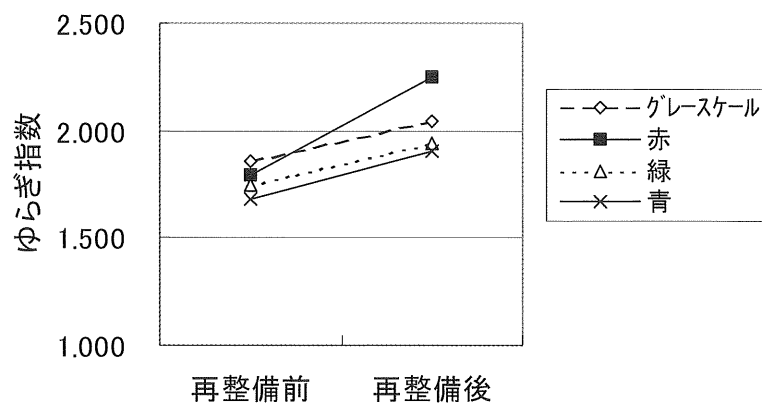


図-7.3.2 入口1の再整備前後のゆらぎ指数の分布



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図・7.3.3 入口1の再整備前後におけるゆらぎ指数の推移



## Ⅱ. 入口2から見た景観の整備前後の変化

入口2から見た整備前の景観（写真-7.3.3 参照）は、中低木と樹木等の緑の占める割合が多く、その他は手前の道路くらいである。整備後（写真-7.3.4 参照）の景観は緑が減り、入口1と同じように公園の地面と空が見えている。しかし、公園の遠景には、山の緑が見えており、入口1から見える景観ほど、緑の減少は見られない。

入口2から見た景観のゆらぎ指数は、すべての色成分について入口1と同様に数値が高くなった。図-7.3.5 に示す様に、再整備前後の水平方向と垂直方向のゆらぎ指数を比較すると、どれもが右上がりのグラフになっている。入口1と同様に赤成分の値が高くなったが、ここでは青成分も整備後に値がかなり大きくなった。

（a）再整備前



写真-7.3.3 入口2 再整備前の様子

（b）再整備後



写真-7.3.4 入口2 再整備後の様子

表-7.3.3 入口2 再整備前の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.692	1.612	1.576	1.376
垂直方向	1.930	1.841	1.814	1.536

表-7.3.4 入口2 再整備後の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.740	1.831	1.662	1.626
垂直方向	2.032	2.169	1.957	1.864

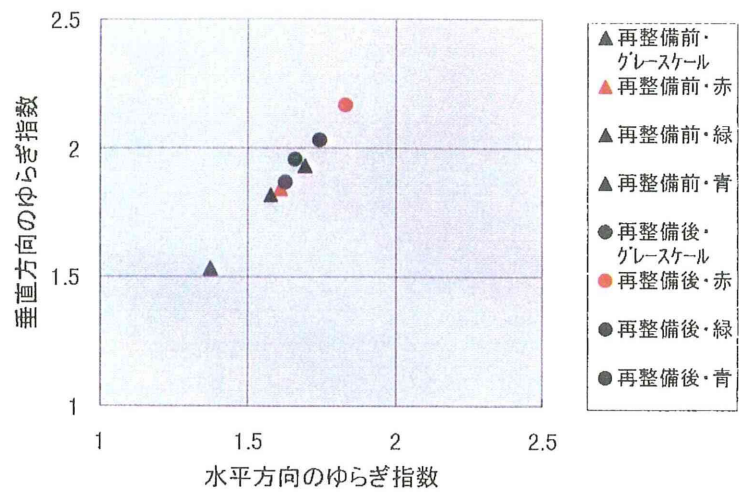
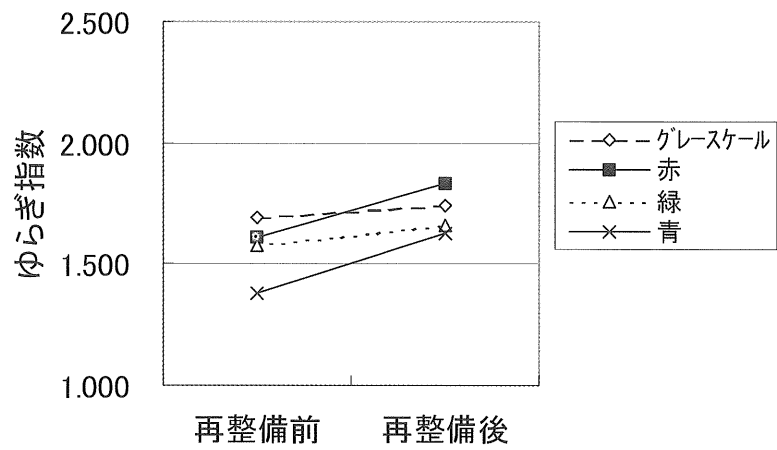
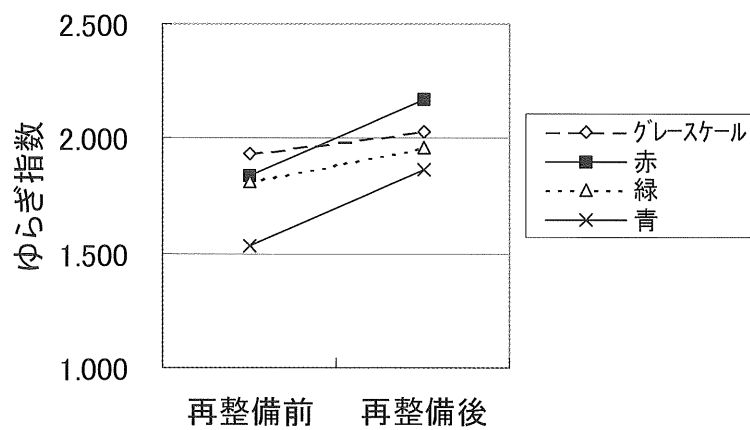


図-7.3.4 入口2 の再整備前後のゆらぎ指数の分布



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図・7.3.5 入口2の再整備前後におけるゆらぎ指数の推移



### Ⅲ. 入口3から見た景観の整備前後の変化

入口3から見た整備前後の景観（写真-7.3.5及び写真-7.3.6）を比較すると、公園入口付近の樹木が減って見通しが良くなっているものの、全体的な緑の量に大幅な変化は見られない。最も変化した部分は地面である。整備前は地面が砂利であったため、灰色で公園内が暗く見えたが、再整備後は舗装も明るい黄土色に変わり、手前はピンク色のカラー舗装に変わったことにより、公園内は明るい印象となった。

入口3から見た景観の整備前後における水平方向のゆらぎ指数を図-7.3.7（a）で比較すると、入口1や入口2と違い、全ての色成分について下がる傾向を示した。特に、赤成分以外の色の下げ幅が大きい。これは、地面の色の変化が特に緑成分と青成分に表れ、結果として全体のゆらぎ指数が下がったと考えられる。

入口3から見た景観のゆらぎ指数の分布範囲を図-7.3.6でみると、再整備前は各色成分ともに似た値を示すが、整備後はゆらぎ指数が散らばっており、入口1と同様の特徴がここでもみられた。

（a）再整備前



写真-7.3.5 入口3 再整備前の様子



(b) 再整備後



写真-7.3.6 入口3 再整備後の様子

表-7.3.5 入口3 再整備前の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.876	1.847	1.757	1.778
垂直方向	2.015	2.035	1.901	1.895

表-7.3.6 入口3 再整備後の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.695	1.815	1.581	1.628
垂直方向	1.968	2.156	1.854	1.823

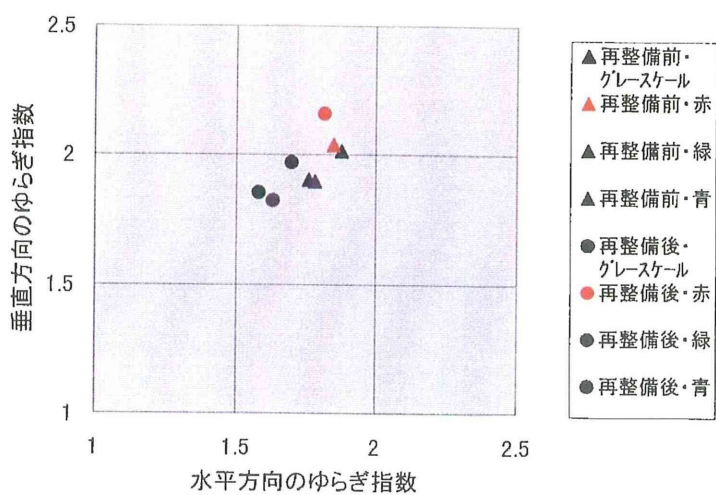
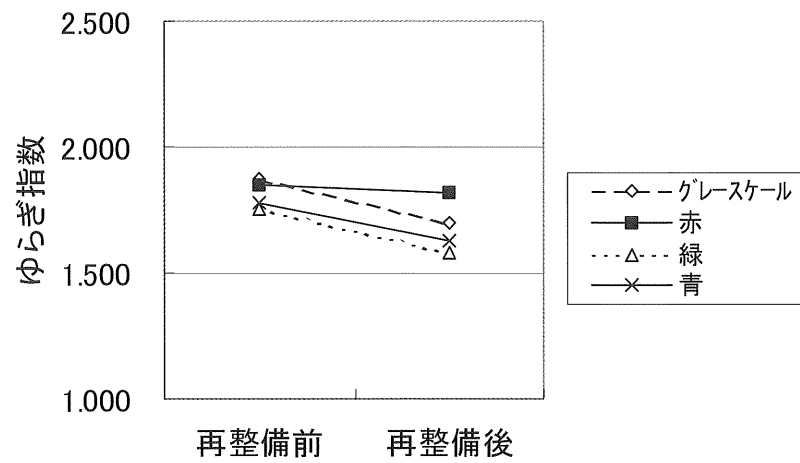
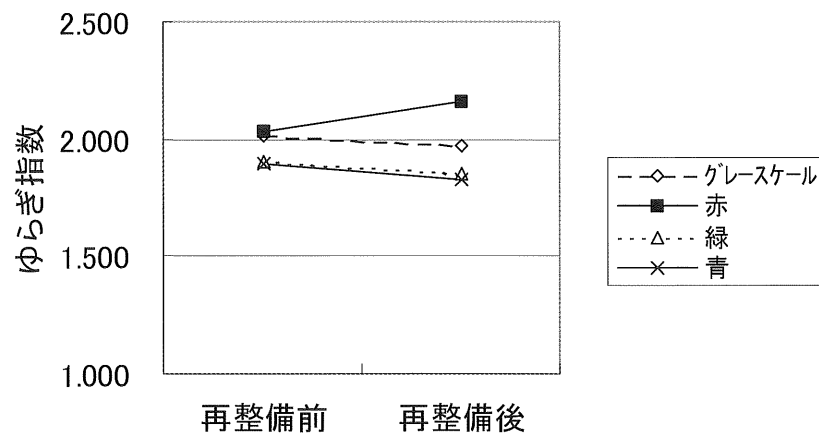


図-7.3.6 入口3の再整備前後のゆらぎ指数の分布



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図-7.3.7 入口3の再整備前後におけるゆらぎ指数の推移



#### IV. 入口4から見た景観の整備前後の変化

入口4から見た再整備前の景観（写真-7.3.7）は、約50%が樹木と芝の緑であり、約40%が地面の砂利である。整備後は、若干樹木の緑が増えた以外に、地面の割合はほとんど変わっていないが、地面自体は土に変わっている。整備後（写真-7.3.8）の緑の部分は、暗く写っており、公園全体が暗くなったような印象も受ける。

入口4の整備前後におけるゆらぎ指数は、図-7.3.9を見ると赤成分は上昇、それ以外の成分はほぼ同じように下がっている。ここでも、ゆらぎ指数の幅が広がっていることが確認できる。

##### （a）再整備前



写真-7.3.7 入口4再整備前の様子

##### （b）再整備後



写真-7.3.8 入口4再整備後の様子

表-7.3.7 入口4再整備前の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.823	1.836	1.713	1.648
垂直方向	2.038	2.091	1.937	1.829

表-7.3.8 入口4再整備後の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.747	1.901	1.619	1.628
垂直方向	1.895	2.087	1.785	1.718

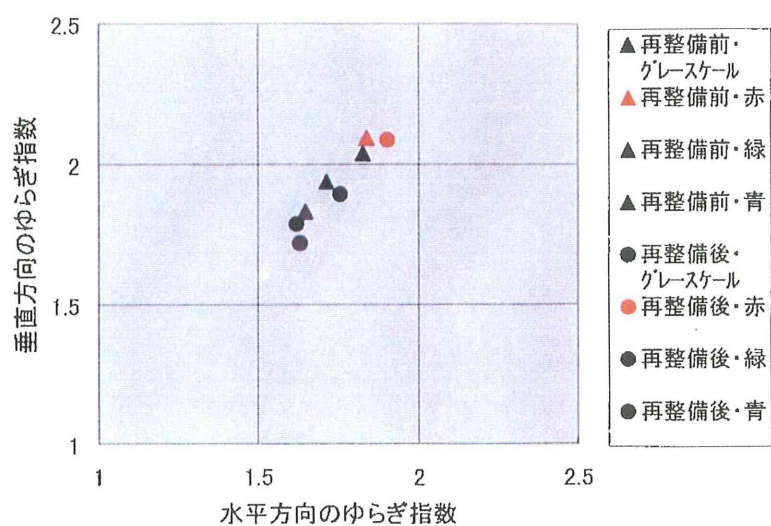
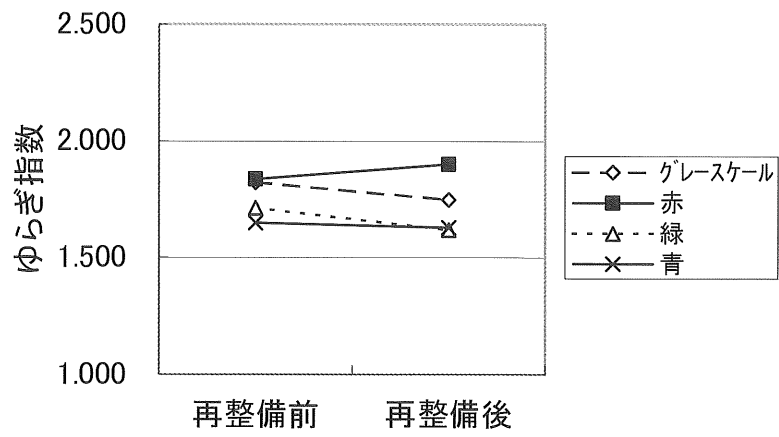
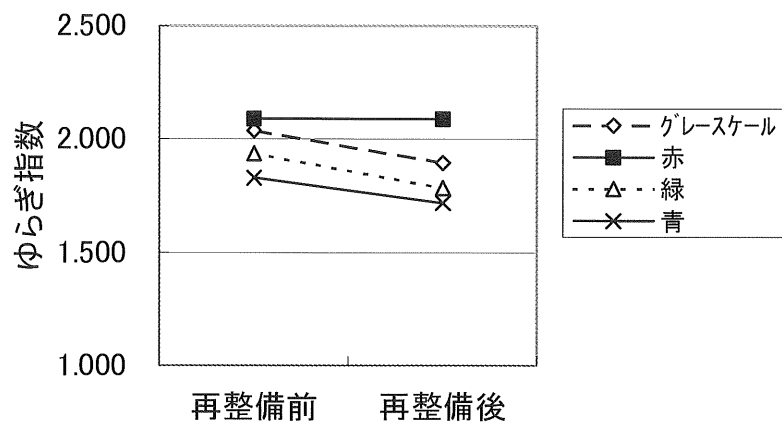


図-7.3.8 入口4の再整備前後のゆらぎ指数の分布



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図-7.3.9 入口4の再整備前後におけるゆらぎ指数の推移



## V. 公園中央部景観の整備前後の変化

公園中央部の整備前の写真-7.3.9を見ると、樹木は等間隔に整然と並んでいる。樹木などの緑は、今回使用した5枚の写真と比べると最も少ない。整備後は写真-7.3.10に見るように、樹木が多少減ったため、緑の割合は減少している。緑の減少により、公園の背後に位置するビルなどの構造物が良く見えるようになった。また、地面は砂利から土へと変わったことから、明るくなった印象を受ける。中央部景観のゆらぎ指数を図-7.3.11で見ると、これも入口3と似た傾向を示しており、赤成分以外は数値が下がり、景観が複雑化したことが分かる。この理由として、入口4と同様に、地面の違いがゆらぎ指数に影響したと思われる。中央部の整備前後でのゆらぎ指数の分布（図-7.3.10）は、整備前は1.7付近に偏っているのに対し、整備後は値が散らばっているのが判る。

### （a）再整備前



写真-7.3.9 中央再整備前の様子

### （b）再整備後



写真-7.3.10 中央再整備後の様子

表-7.3.9 中央再整備前の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.709	1.656	1.584	1.554
垂直方向	1.830	1.809	1.701	1.678

表-7.3.10 中央再整備後の解析結果

	グレースケール	赤成分	緑成分	青成分
水平方向	1.573	1.613	1.477	1.431
垂直方向	1.726	1.863	1.626	1.543

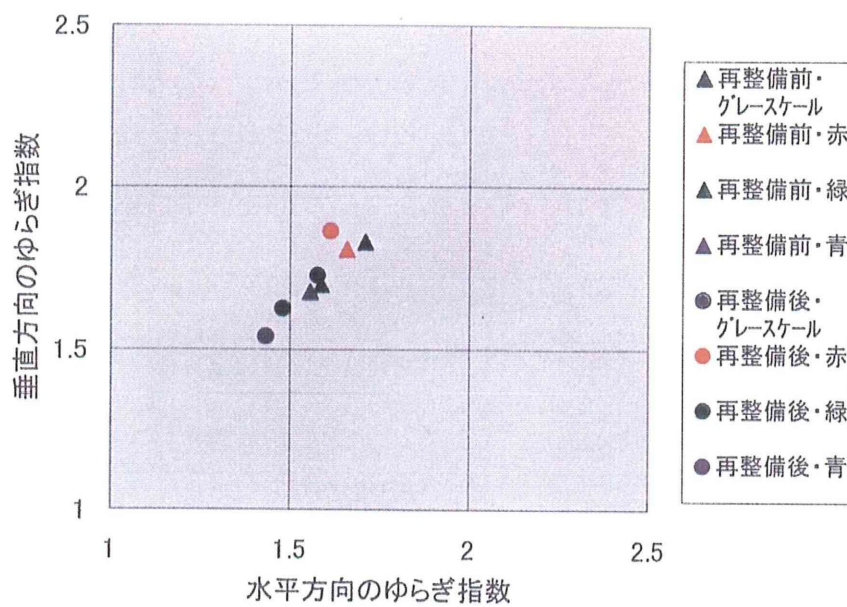
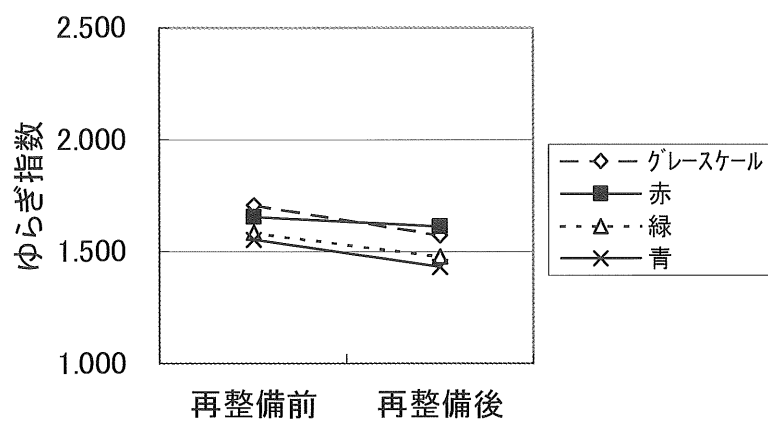
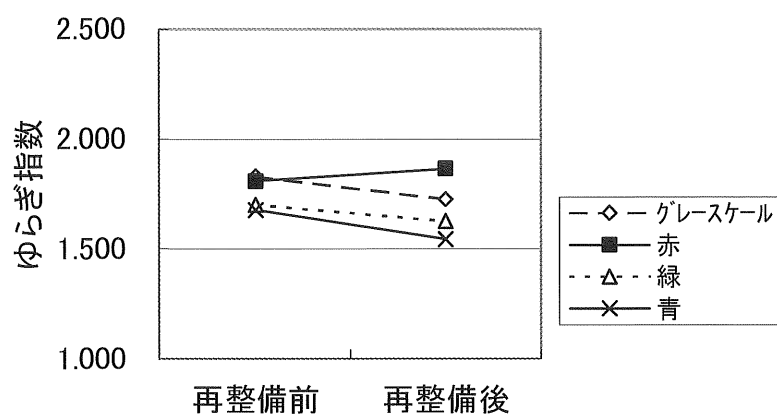


図-7.3.10 中央の再整備前後のゆらぎ指数の分布



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図-7.3.11 中央の再整備前後におけるゆらぎ指数の推移



## V. まとめ

中園公園の整備前後における公園景観の空間周波数解析により、緑色 (G) 成分の減少する画像では全体的にゆらぎ指数が上がり、地面の色が明るくなった写真においては、赤色 (R) 成分以外の色のゆらぎ指数が下がる傾向を示した。また、ゆらぎ指数の分布についても、整備前には偏っていたものから、整備後には拡散する方向へと変わったものが多く見られた。

以上のように、部分的ではあるが、公園整備に伴う景観の変化をゆらぎ指数の分布幅により評価することができた。

ゆらぎ指数は、人に心地良いか否かを知る指標として利用されることがあるが、人の感受性は個人差がある。そこで、人に心地よい景観であるのか、もしくは良い景観へと変化したかを定量的に把握するためにアンケート調査を実施した。アンケート方法は、公園の景観写真を見せて、人がどのような印象を持つのか、実際にこの公園を使用している人はどのようにこの公園景観の変化を捉えているのか、についての聞き取り調査である。アンケート結果と解析結果との比較を次節に記述する。



#### 7. 4. 2 アンケート結果と考察

設問ごとのアンケート結果を以下に整理する.

##### (1) 性別

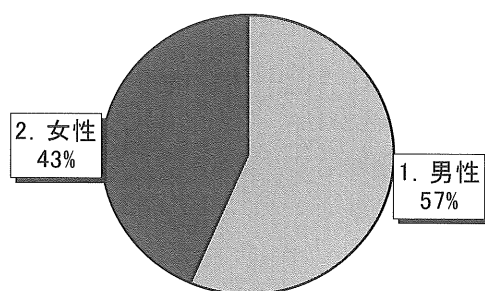


図-7. 4. 1 性別

##### (2) 年齢

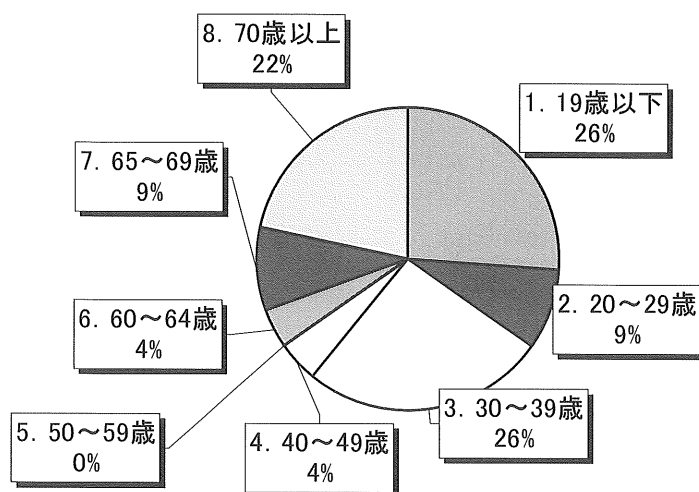


図-7. 4. 2 年齢

年齢層は大きく3つに分けることができた. 1つめのグループは19歳以下であり, 公園内で自転車や野球をしている男の子である. 2つめのグループは20～39歳である. そのほとんどは子供連れの主婦であり, 子供を遊ばせるために公園に来ていた. そして, 3つめのグループが60歳以上の高齢者である.

### (3) 利用頻度

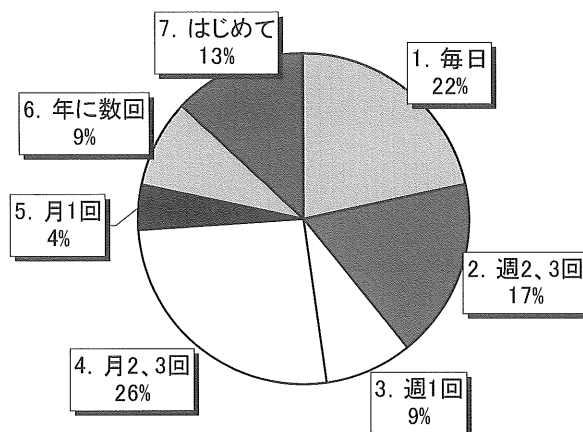


図-7.4.3 利用頻度

### (4) 利用目的

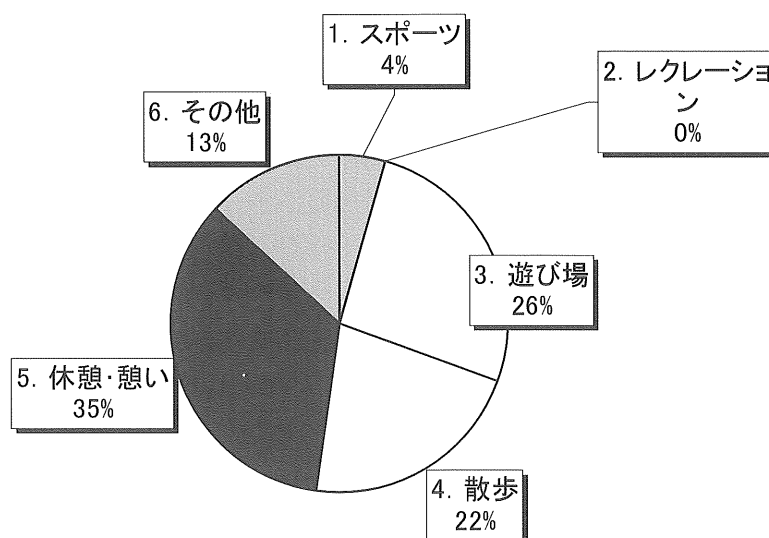


図-7.4.4 利用目的

週に2～3回以上来ている人は全体の1/3であり、定期的に来ている人は今回の調査対象の中で想像していたよりも少なかった。理由として、最近、つまり再整備後にこの公園を利用し始めた人が多いことがあり、実際に13%の人が初めての利用であった。

遊び場と答えたのは子供を連れた主婦や子供達であった。休憩・憩いと答えた人の中には昼食を公園でしている人が多かった。また利用目的を「リハビリ」と答えた方もいた。再整備によって、公園の地面が砂利から土へと変わったことにより、固いアスファルトや砂利ではなく、それらに比べて脚に負担のかからない軟らかい土の上を歩くことができる事が理由である。アンケート調査時も、膝などを悪くしている方や杖を突いて歩いている方が、グルグルと公園内を回っている姿をよく見かけた。

(5) 再整備前後で比較した時の明るさについて

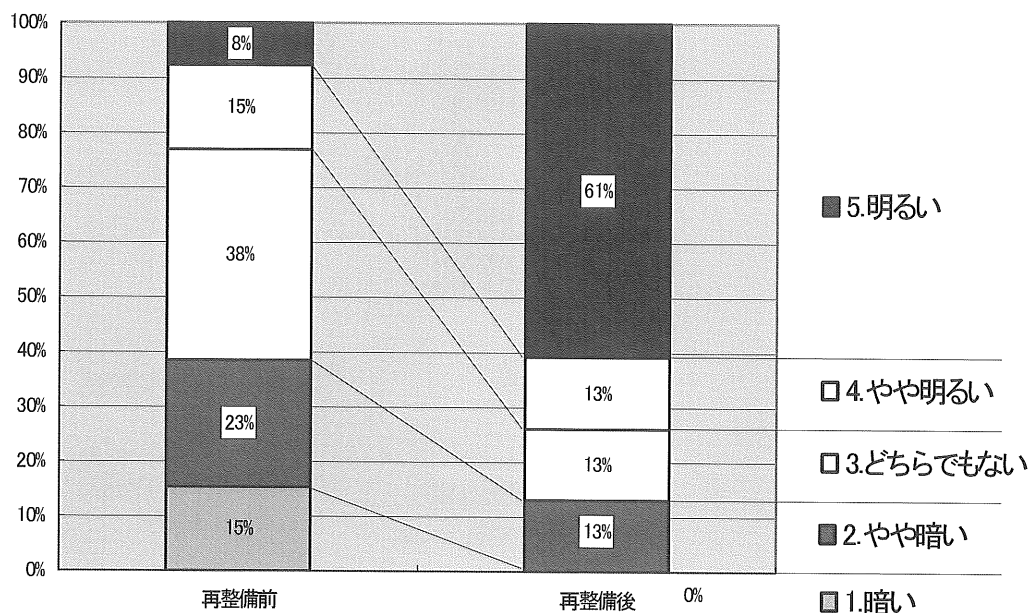


図-7.4.5 明度

公園の明るさについてのアンケート結果を図-7.4.5に示す。整備後が明るいと答えた人が半数を超えた。この理由としては、地面が砂利から土へと変わったことが上げられる。

次に、公園内の樹木が多少減ったことにより、公園内に太陽光がより入るようになったことがあげられる。なお、夜には整備前よりも明るい照明がつけられ、全体に防犯面も含め改善がなされている。

(6) 再整備前後で比較した時の暖かみについて

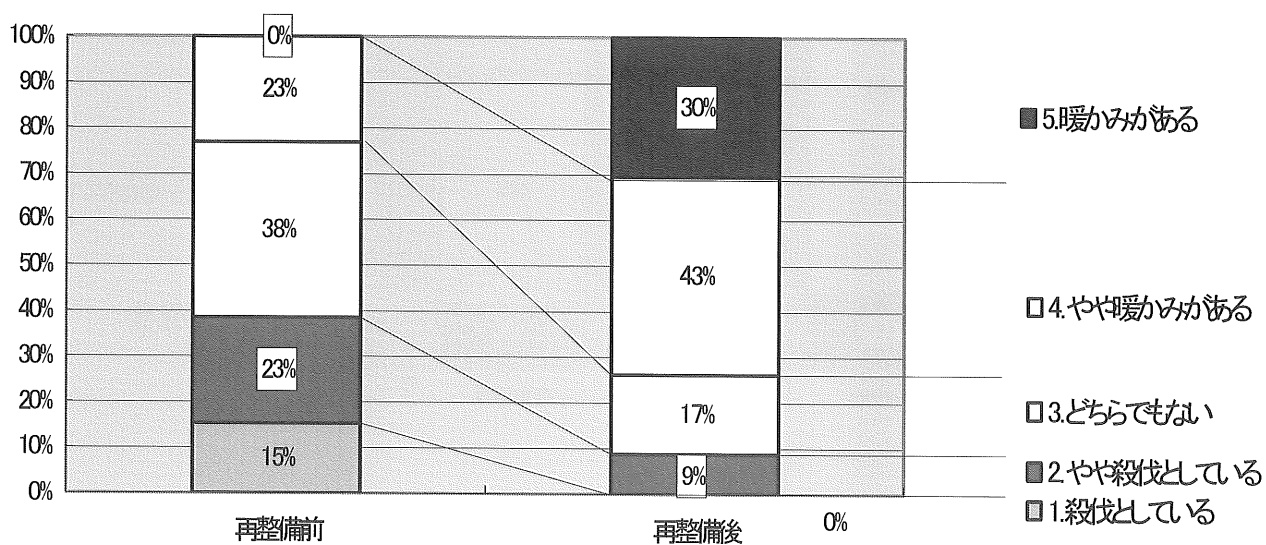


図-7.4.6 暖かみ

図-7.4.6に示す“暖かみ”についてのアンケート結果では、整備前も樹木が多かったことから、以前から“暖かみ”を感じている人が比較的多かったのだが、整備後は実に70%以上の人が“暖かみ”を感じるという結果になった。

(7) 整備前後で比較した時の閉鎖性・開放性について

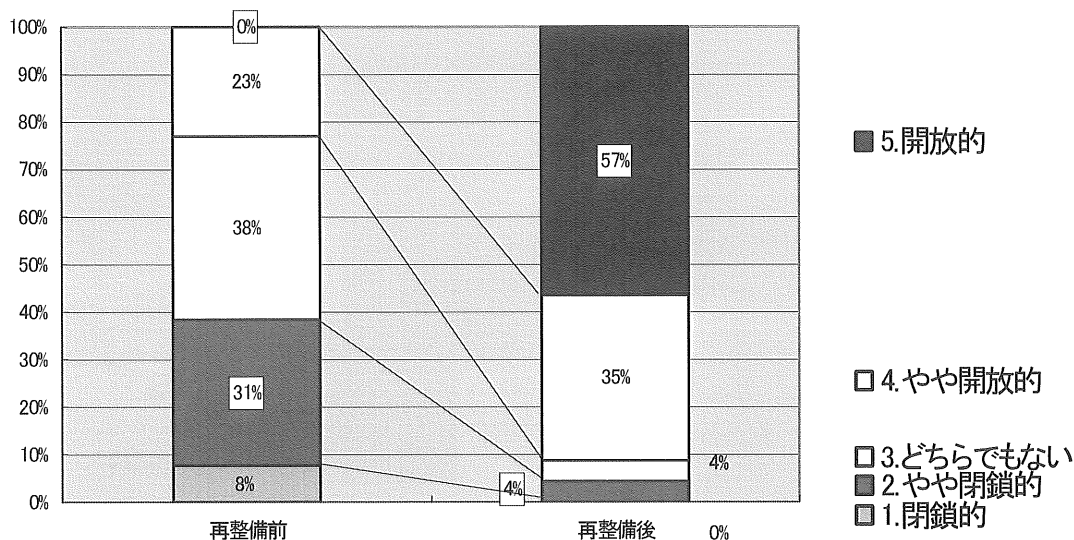


図-7.4.7 開放性

図-7.4.7 に示す“開放性”についてのアンケート結果では、整備前に開放的もしくはやや開放的と答えた人が23%であったのに対し、整備後は90%以上の人が“開放的”もしくは“やや開放的である”と答えている。この理由としては、樹木や植栽が減ったこと、公園内の段差がなくなって、公園内が見通せるようになったことが上げられる。

(8) 整備前・後で比較した時の単調さ・多様性について

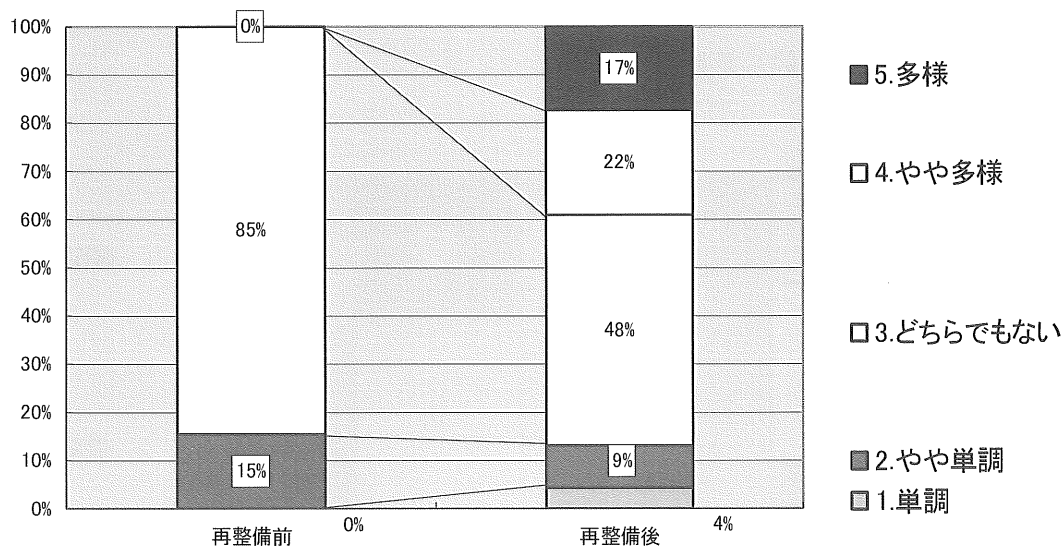


図-7.4.8 多様性

図-7.4.8 に示す“多様性”についてのアンケート結果では、整備前はどちらでもないと答えた人が8割以上であったのだが、整備後は約4割の人が多様(やや多様を含む)になったと答えた。この理由として樹木などは減ったものの、複合遊具などが以前よりも増え、またベンチも増えたこと等、施設面の充実からこのような結果になったと考えられる。

(9) 整備前後で比較した時の広さについて

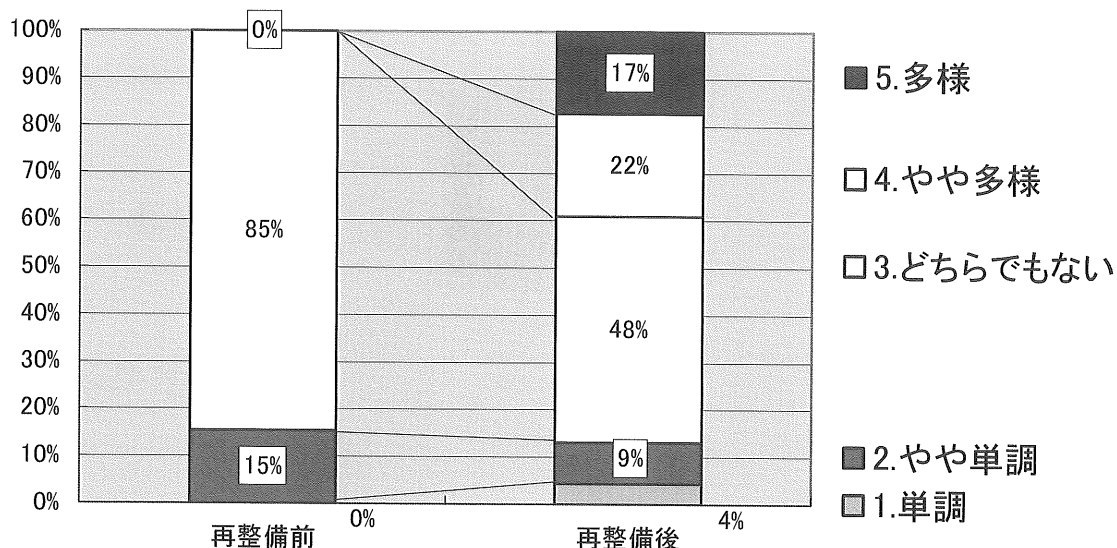


図-7.4.9 広さ

図-7.4.9の“広さ”についての質問は、整備前・後で広さの変更はないが、あえて印象としての広さについて尋ねた。再整備前は38%の人がやや狭いと答えていたのに対し、整備後はわずか4%に減り、変わって広いと答えた人が半数を超える結果となった。これについても、樹木の減少による見通しの変化という、景観の変化によって実際に広さは変わっていないものの、その印象が変わったものと思われる。

(10) 整備前後で比較した時の落ち着きについて

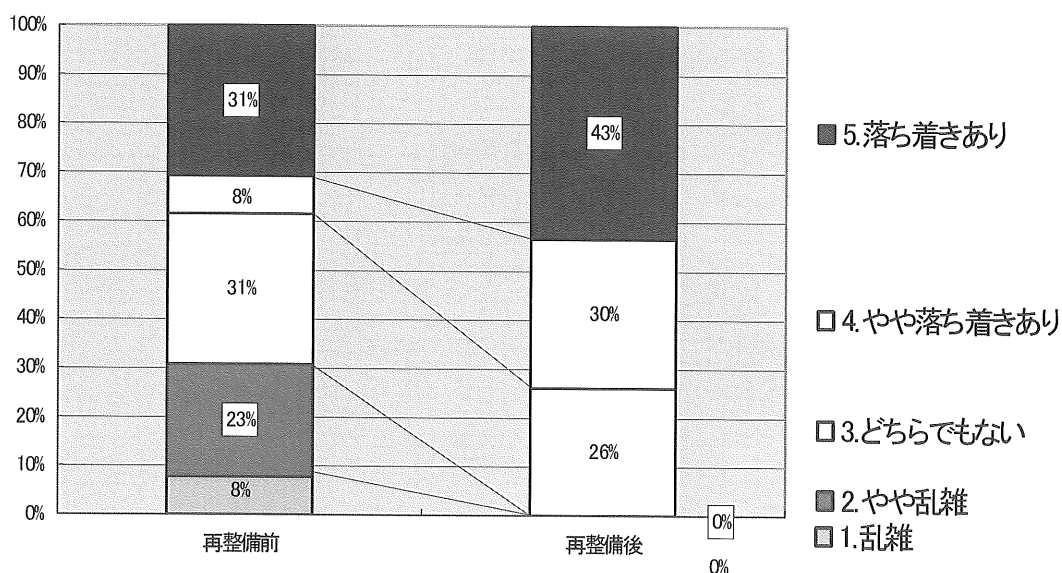


図-7.4.10 落ち着き度

“公園内の落ち着き”についてのアンケート結果を図-7.4.10に示す。整備前が“乱雑”もしくは“やや乱雑”と答えた人が30%ほどいたのだが、整備後は“乱雑である”という人は1人もいなかった。この理由として、まず樹木の減少が上げられ、他にも段差の解消、遊具や水道等の施設の充実、そして掃除が行き届いていることが考えられる。



(11) 整備前後で比較した時の快適性について

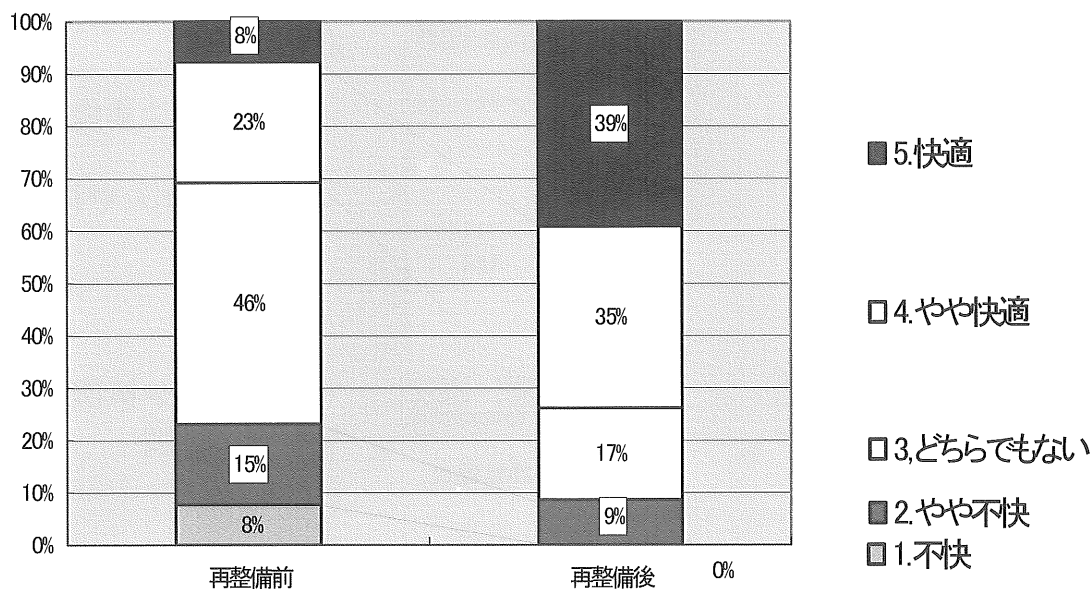


図-7.4. 11 快適性

“公園の快適性” についてのアンケート結果を図-7.4.11 に示す. “どちらかというと” を含めると整備後が良いと答えた人が実に 80% を超える結果となった. うっそうと繁っていた樹木が減少したこと, 段差がなくなり見通しが良くなったことがここでもその理由としてあげられる.

(12) 整備前・後で比較した時の心地よさについて

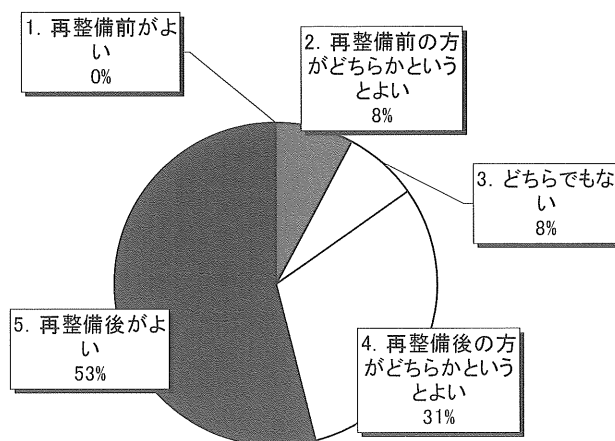


図-7.4.12 心地よさ

“心地よさ” のアンケート結果を図-7.4.12 に示す. これまでの設問からも判明していることであるが, 整備後のほうに “心地よさ” を感じる人の方が 84% を数える.

## 7. 5 ゆらぎ指数とアンケート結果の考察

アンケート調査は、対象人数が24名と少なく、実施時期も冬場の一度と公園評価を行うには、十分ではなかったが、小さな児童公園であり、多くの利用者を得ることは困難であった。しかし、アンケート調査時に自治会長や長年この公園を利用している人に聞いた話によると、注目すべき点は整備後に公園利用者が増えたということである。利用者が増えた理由として、公園の脇の道路を通った時に、“ふと入ってみよう”とか“立ち寄ってみよう”と思わせるような景観になったからではないだろうか。

整備前・後における公園景観の違いとしては、

第一に、樹木等の植栽の減少により、公園内が明るくなり、見通しが良くなったこと。

第二に、段差解消で見通しが良くなり、公園自体が広く見えること。

第三に、地面が土に変わったことにより、公園内が明るくなったこと。

以上この3点が大きく変わった点としてあげられる。

これら景観の変化が、空間周波数解析結果にどの様に現れているかについて考察する。

再整備による樹木の減少によってゆらぎ指数は上昇し、より単純な景観へ変化した結果を得た。また、地面の変化によりゆらぎ指数は下降し、より複雑な景観へ変化した結果を得た。一方アンケートの結果では、樹木の減少と地面の変化についての景観変化は、利用者から好意的に受け止められていた。解析から得たゆらぎ指数は、利用者が感じている“心地よさ”とは一致していない。しかし、ゆらぎ指数の幅に着目すると、再整備によってゆらぎ指数の幅は広がっており、このことは、様々なゆらぎ指数を持ち、色々な要素を持つ公園景観となったといえることができる。つまり、多くの幅広いゆらぎ指数を持つ景観ほど、人に心地よい公園景観であるということが考えられる。

## 7. 6 まとめ

様々な景観について空間周波数解析から得られるゆらぎ指数を比較することによって、公園景観の定量的評価を試みた。その結果、天神中央公園では、ビルなどの構造物と自然物である樹木や芝、植栽の違いを、ゆらぎ指数の違いで確認することができた。また、中園公園の解析結果からは、再整備前後の配色の違いによる特徴がゆらぎ指数に反映されることが把握することができた。赤・青・緑の各色成分固有のゆらぎ指数の意味や、その特徴など未知の部分があるものの、緑色成分の減少する画像では全体的にゆらぎ指数が上がり、また、地面の色が明るくなった写真においては、赤色成分以外の色のゆらぎ指数が下がる傾向を示した。ゆらぎ指数の分布についても、整備前に偏っていたものから、整備後に拡散する方向へと変わったものが多く見られた。部分的ではあるが景観変化を定量的に評価する上で、画像を利用した空間周波数解析の適用性を確認することができた。

アンケート調査により、中園公園の再整備による景観変化は、公園利用者から好意的に受け取られていることが分かった。また、アンケート結果と空間周波数解析から、公園全体が持つゆらぎ指数の幅の把握が景観を評価する上で有効であるという結果を得た。

公園景観とゆらぎ指数の関係を表-7.6.1に示す。

表-7.6.1 公園景観とゆらぎ指数の関係

対 象		公園 (人工と自然が混在しているもの)
構成要素		樹木・背景建物・施設・全体空間・利用者
ゆらぎ指数	幅が広い	整備後 → 樹木・施設・空間の配置が適切 → 指数が拡散する → 飽きない
	幅が狭い	整備前 → 樹木・施設・空間の配置が不適切 → 指数が偏る → 飽き易い

第5章で解析した高速道路のロードキル調査では、ゆらぎ指数の幅は広いほうがゆらぎの種類や種々の要素を多く持っており、さまざまな植物や動物が住み、それによってロードキルの事故が多いと結論づけられた。第6章で解析した交通事故発生地点のゆらぎ解析では、ゆらぎの種類が多く、ゆらぎ指数の変化が大きな交差点ほど多様な環境空間といえ、人間は運転時により注意深くなり、事故が少ない交差点となる、と結論づけられた。これら二つの研究成果と今回の結果を併せて考えると、ロードキル調査における動物がそうであったように、ゆらぎ指数の幅が広いほど、つまり、単調さや複雑さを多様に持っている景観ほど、人間は心地よさを感じると結論づけることができる。

本研究では、公園の特徴を評価する手法として、景観の輝度変化に着目して空間周波数解析を実施した。従来、公園整備や既設公園の再整備は、目的や設計思想をもって実施さ

れるものであるが、現在の公園がどのように受け止められているかを迅速に評価分類し、画一的でない公園設計に反映させる場合に有効な手法と考えられる。

今後更に多くの公園景観を解析・整理することで、様式化された公園景観をゆらぎ指数により分析し、その特徴を定量化させることで、都市公園の新設時や再整備時の人工物、樹木ほかのゾーニングや配置計画を考える場合の一指標として利用できると考えられる。

## 第7章の参考文献

- 1) 武者利光 (1980) : ゆらぎの世界, 講談社, pp. 91~92
- 2) 武者武光 (1994) : ゆらぎの発想, NHK出版, pp. 24~32
- 3) マップルマガジン福岡 (1999) : 昭文社, pp. 48~49
- 4) 横川洋也・鈴木誠・進士五十八 (1998) : 視距離による樹木の見え方・感じ方に関する研究, ランドスケープ研究, 61 (5), pp. 609~612
- 5) 亀野辰三・八田準一 (1998) : 「樹高幅員比」に基づく景観イメージの評価, ランドスケープ研究, 61 (5), pp. 617~620
- 6) 長崎市都市計画部公園緑地課提供資料
- 7) 鳴海邦碩 (1988) : 景観からのまちづくり, 学芸出版社, 245p.
- 8) 篠原修・景観デザイン研究会 (1998) : 景観用語事典, 彰国社, 307p
- 9) 亀谷一郎 (2000) : 都市公園の効用と機能に関する実践的研究. 長崎大学大学院工学研究科, 修士論文, 159p.

## 第8章 成果と展望

近年とみに開発意義が不明瞭な事業が継続され、諫早干潟や三番瀬、宍道湖、四国カルスト等開発により失われる地形への危惧から、地形保護への関心は高くなっている。今後の建設事業において、自然環境を保全・創出していくという考えは、この様な“ゆっくりとした時の流れ”を前提とした考え方が必要となっている。これまでの建設手法は、即効性と効率性を重視し、自然が徐々に作り上げていく“周辺に適合した環境”を配慮することなく、またこうした観点での施工技術は開発されてこなかったのが現状である。これからの建設事業の役割は、目標とする環境状況に持っていくためのきっかけを作ることであると考えられる。事業を推進する立場としては、施工段階により、その工程毎により良い自然環境がその後の時の流れを通して形成されるような方向に導くことが、最良であると考ええる。昨今の建設活動では、道路におけるエコロードの採用やのり面緑化工法、河川においては多自然型河川工法等、自然保護や生態系保全を視野に入れた工法採用が行われているが、まだ緒についたばかりであり試行錯誤を繰り返しながら進められているのが現状である。

以上を鑑み、本研究は、

『人々が生活する社会環境や自然環境を対象として、フラクタル理論とゆらぎ理論を用いて、地形改変や対策工の効果等の環境モニタリング手法並びに生活空間で発生するロードキルや交通事故、また身近な公園景観など、多様な空間に含まれる固有の特徴を分析し、より安全で良好な空間創造を行うための指標化を試みた。』

ものである。

研究テーマは、地形・交通事故・公園整備・河川形状変化の評価等を定量的に行うことを取り上げ、複雑系の中でも多くの研究が行われているフラクタル理論や空間周波数による解析を行い、分析・評価したものである。

各章についての本論文で得た成果と今後の展望について以下に記す。

第1章と第2章では、本論文の社会的背景および目的、ならびにフラクタル理論や空間周波数を用いた様々な研究例を示し、本論文の内容と構成を簡単に整理して、各章の相互の関係を述べた。また、本研究で大きな役割を担うフラクタル理論やゆらぎ理論を要約するとともに、人工衛星リモートセンシングデータを用いたフラクタル次元解析に適用するための手法を述べた。

第3章では、開発などにより改変される地形の自然喪失度や環境保全の目的で整備された人工リーフなど対策工の効果のモニタリングについて、人工衛星データの容易な入手性と正方形メッシュデータであることから、フラクタル次元測定の迅速性に着目し、河川線形ならびに海岸線形のフラクタル次元解析を実施した。紙の地図情報に換えて人工衛星データを用いて、容易かつ迅速にフラクタル次元を求め、河川形状や海岸形状の特徴把握の妥当性を検証した。

本研究により得られた成果をまとめれば、以下のとおりである。

① 人工衛星データは、元来正方形のメッシュデータであるために、ボックスカウンティ

ング法を用いたフラクタル次元の測定を容易かつ迅速にできる点から有利である。

- ② 広範囲の対象を解析する場合、地図情報データでは何枚かの地形図を組み合わせる必要があるが、人工衛星データは広範囲の地域を観測しているために、国内の河川であれば一つのシーンで充分カバーできる。
- ③ 地図情報は作成の更新までに時間がかかり、使用する情報が古い場合が多いが、人工衛星データを用いれば、形状の変化についてもリアルタイムで判別することができる。
- ④ 種類の異なる人工衛星データを複数組み合わせても、河川形状や海岸形状のフラクタル次元を測定することができる。
- ⑤ 人工衛星データの解像度の優劣が解析結果に現れるため、より高精度のデータの利用が望ましい。

このように、人工衛星リモートセンシングデータは、河川形状や海岸地形をありのままに捉え、地図情報と違いリアルタイムに情報を得ることが可能である。人工衛星データを用いたフラクタル次元測定は、広範囲を対象に迅速に解析でき、定期的に解析することができる。

現在の人工衛星データの解像度は、モニタリング対象の微妙な変化を読みとるには精度が粗い。しかし、近年解像度の高い人工衛星データの利用が可能になったことで、河川護岸や海岸域等の地形変化を高精度でモニタリングするシステムに適用できると考える。

第4章では、地形環境を評価する手法の一つとして、地形固有の特徴を定量化するため、地表面標高から地形断面を作成し、空間周波数解析により、その断面形状がもつゆらぎ指数の違いから、地形を特徴つける地域性を検証した。

長崎県内の離島である対馬、壱岐、福江島の地形が示すゆらぎの種類は、“ $1/f$  ゆらぎ”ではなく、周波数とパワーの間に相関性が低い“ゆらぎ”の種類であった。しかし、緯度、経度方向の断面形状には、島独自の地質の特徴を反映した結果が認められた。当然、地盤の硬・軟や風化、構造的変化や人工的な改変により地形は大きく変化しているが、地形の起伏状況をゆらぎ指数を用いて指標化することにより、地質を反映した地形の差別化が可能であることが明らかとなった。山地形状や島嶼等断面的に特筆される地形では、空間周波数解析を用いて景観を評価する事が可能である。

日々の生活にとけ込んでいる原風景や国内至る所で見られる山並みのスカイラインは、地域により異なる形状を見せている。山々に囲まれ、古来から人々の生活になじんできた小京都風の景観や故郷の景観は、人に心地よさや安らぎを与えている。このような遠景域や生活に密着した身近な景観をゆらぎ指数で定量化することにより、住環境を考慮する際の周囲景観を評価する手法としての利用が考えられる。

第5章では、高速道路上のロードキル発生に着目し、ロードキル多発地点と発生が少ない地点の景観の違いが有るのではないかと考え、空間周波数解析により発生地点固有の特徴をゆらぎ指数を用いて検証した。

その結果、空間全体のゆらぎ指数を見ると、

- ① ロードキルが多発する地点はゆらぎ指数の幅が広く、複雑もしくは単調といった周囲



に比べて極端に異なる空間情報を有していると考えられる。

- ② ゆらぎ指数の幅は、広いほうがゆらぎの種類や種々の要素を多く持っており、様々な植物や動物が住み、それによってロードキルの事故が多いと考えられることが判明した。

ロードキルの実態調査結果を見ると、盛土区間より切土区間の方に発生地点が多いことは、旧けもの道や本来の生息区域との関連から考えると当然といえる。ゆらぎ指数の幅が広い区域は、特に自然が多様で生物の生息が良好と考えられるので、空間周波数解析は、生態系保全や保護の対策工実施地点を選定する上での指標になると考えられる。

今後は、動物側に立脚した視点での研究、すなわち、小動物の視点は地上から 50cm 以下と考えられ、また視野も狭いので、今回の使用した画像（空間）と小動物が見ている空間には違いがあると考えられる。また、小動物側が認識する様な、可視光より波長の長い赤外線画像の解析も必要であろう。そのためには、対象となる小動物別の調査が求められる。

第 6 章では、交通事故発生要因の一側面を検証する目的で、交通事故が多発する地点とそうでない地点で、運転時の視野に入る景観が運転者に与える影響について、それぞれの空間（景観）に何らかの違いがあるのでは無いかと考え、ゆらぎ指数を用い交差点固有の特徴を分析・評価した。

その結果、ゆらぎ指数の分布範囲を整理すると、

- ① 交通事故が多発している交差点ではゆらぎ指数の最大値と最小値の差が小さく、反対に交通事故が少ない交差点は、ゆらぎ指数の最大値と最小値の差が大きくなっていることが判った。
- ② ゆらぎ指数の範囲幅が大きいほど、事故発生頻度は少なく、ゆらぎ指数の範囲幅が狭く、偏っているような空間ほど事故発生度は高いことが伺えた。

交差点の交通事故のみならず、交通事故の発生要因は多岐に渡るが、交差点という空間をゆらぎ指数を用いてある程度特徴づけることができた。しかしながら、交差点の景観は、色調や構造物の形状ほか、視覚から得られる情報も多岐である。輝度から得たゆらぎ指数は交通事故と空間の一側面を評価しているが、さらに、これらの要素を取り入れることにより、交通事故と発生場所の関係がより明瞭になると考えられる。

第 7 章では、利用者の受ける公園景観の特徴について、ゆらぎ指数を用いた景観評価を実施すると共に、アンケート調査結果から利用者意識について解析値との対比を行い、公園景観の定量的評価を行った。

解析・検討結果から以下の点が判明した。

- ① 天神中央公園の景観分析では、ビルなどの構造物と自然の樹木、芝、植栽など構成要素の違いをゆらぎ指数で確認することができた。
- ② 中園公園の景観分析から得たゆらぎ指数は、整備前に偏っていた景観が、整備後に拡散する様な景観が多く見られ、再整備前後の特徴が、ゆらぎ指数に反映される結果を得た。

天神中央公園の解析結果を見ると、赤・青・緑の各色成分についてゆらぎ指数の意味や、その特徴に未知の部分があるものの、緑色成分の減少する画像では全体的にゆらぎ指数が上がり、地面の色が明るくなった画像では赤色成分以外の色のゆらぎ指数は下がる傾向を示した。公園整備が行われた中園公園の解析結果を見ると、再整備によってゆらぎ指数の幅は広くなり、様々な要素を持つ公園となったといえることができる。このことから、幅広いゆらぎ指数を持つ景観ほど、人に心地よい公園景観であること。すなわち、単調さや複雑さを多様に持っている景観ほど、人間は心地よさを感じると結論づけることができ、景観変化を定量的に評価する上で、空間周波数解析が適用できることが確認できた。

アンケート調査結果から、再整備後の中園公園は景観的に公園利用者から好意的に受け取られていることが分かった。また、アンケート結果と空間周波数解析によりゆらぎ指数による景観評価を比較すると、公園全体が持つゆらぎ指数の幅を把握することで、景観評価に有効であるという結果を得た。

今後更に多くの公園景観を解析・整理することで、様式化された公園景観をゆらぎ指数により分析し、その特徴を定量化させ、都市公園の新設時や再整備時にゾーニングや配置計画の検討において、画一的でない公園設計に反映させる一指標になると考える。

空間周波数解析により異なる環境場の状態評価をおこなった。ゆらぎ指数の変化に着目して研究対象における指数の変化幅を見ると表-8.1 に示す様に区分される。

表-8.1 環境空間とゆらぎ指数の関係

対 象		高速道路のロードキル (自然構成要素・生物と交通車両の衝突)	交差点での交通事故 (人工空間での衝突)	公園 (人工と自然が混在しているもの)
構成要素		生物・道路面・法面・斜面・盛土・跨道橋・交通車両	周辺構造物・道路面・往来する人・交通車両	樹木・背景建物・施設・全体空間・利用者
ゆらぎ 指数	幅 が 広 い	自然が豊富→動植物が多い→ロードキルの被害が多い→ 周辺の生態系を隔離する必要がある。	人と物が混在→人が注意する→事故が少ない	整備後→樹木・施設・空間の配置が適切→ 指数が拡散する→飽きない
		自然が多様→生物の種が多様	空間要素が多様→変化が激しい→気が許せない	
		生息空間が豊富・移動が容易		
	幅 が 狭 い	自然が少ない→動物が少ない→ロードキルの被害が少ない→ 生態系保全に努める	人と物が一樣→人の注意が乏しい→事故が多い	整備前→樹木・施設・空間の配置が不適切→ 指数が偏る→飽き易い
		自然が一樣→生物の種が一樣	空間要素が一樣→緩慢な変化→気持ちが緩む	
		切土・法面から構成(周囲に人工構造物が多い)		

この様に、ゆらぎ指数の分布幅が広い空間では多様な環境場が形成されており、分布幅が狭い空間では環境場は一様である。

交差点での交通事故や都市公園の整備を考える場合は、景観自体に異なる様々な要素が含まれる。今後土木工学において生態系を考慮した環境創造を行ううえでは、我々の生活空間としてどちらか一方が良いとか正しいとかではなく、とらえる対象によって、どちらが有利で共存しやすく働くかを検討して、どの様な空間を創造するかが重要となる。

## 謝 辞

本論文は、著者が、長崎大学大学院 海洋生産科学研究科 博士後期課程に在学中の研究成果を、同大学 大学院教授 後藤恵之輔博士のご指導のもとにとりまとめたものです。

本論文をまとめるに当たって、数多くの方々にお世話になり、ご指導とご支援を賜りました。

後藤恵之輔先生には本研究を進めるに当たり、研究テーマの選定から、研究成果の方向づけ、論文の書き方まで、終始変わらぬ御指導、御助言下さり、衷心より感謝の意を表します。地盤工学会研究委員会である「地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関する研究委員会」への参加に推薦いただき、この場で多くのことを学ぶことができました。長崎から松山への転勤もあり、くじけそうになる筆者の心を、ユーモアを交え叱咤激励していただき、奮い立つことができました。改めて感謝申し上げます。

地盤調査や地盤解析を業務主体とするコンサルタント会社に勤務する著者です。しかしながら、本論文は、業務から得られた内容ではなく、独自に研究テーマを設定し、多くの文献や現地調査を重ねた研究の成果に基づき、今後の環境問題を見据えて多様化した環境の保護・保全における評価手法の提案が研究目的となっています。それが故にも多く示唆やご指導を先生から賜りました。お陰をもちまして無事博士論文作成にこぎつけました。

長崎大学工学部 電気電子工学科教授 田中和雅博士、長崎大学工学部 社会開発工学科教授 野口正人博士並びに岡林隆敏博士には、本論文の内容についてご指導を仰ぐとともに、不備な事項について適切にご指導を賜りました。先生方のご指導により本論文の一層の充実を図ることができました。ここに深く感謝の意を示します。

本研究を行うに当たり長崎大学工学部社会開発工学科の棚橋由彦教授、山中稔講師、立入郁助手にも適切にご指導、助言をいただき、厚くお礼申し上げます。

著者が博士課程に進む希望を持つ経緯となったのは、1989年初めに東海大学海洋学部での指導教授であった 故 大草重康博士（当時 新潟大学教授）からお誘いの手紙を受け取ったことに始まります。ちょうどその時、中華民国台北市の地下鉄設計業務に参加することが決まっており、帰国後改めてとの連絡をさせていただきました。しかし、残念ながら大草先生は、その年の8月、栗島沖の海洋調査中に不慮の事故で亡くなりました。その後、勤務地が東京、福岡、長崎と変わるに従い、いつしか学位取得の機会を失っておりました。しかし、この長崎に赴任して以前から懇意にしていた棚橋由彦教授と親しくさせていただくようになり、博士課程進学について後藤恵之輔教授を紹介していただき、引き受けて戴いたことから、今に至っております。棚橋教授には学内でお会いするたび「頑張っていますか!」と声を掛けていただきました。多くの方が敬愛する先生のお人柄や研究に対する厳しい姿勢に接することで、自信の研究への意欲を増すことができました。心より感謝申し上げます。

山中稔 講師には、松山への転勤に伴って長崎と距離的な障害ができましたが、資料送付や提出など多くの助力を戴き、乗り切ることができましたことを感謝いたします。また同時期に学位取得であったことから、お互いに励まし合いながらゴールを迎えることができたことを、ともに喜びたいと思います。

立入郁 助手には、論文追い込み時期に多くのお手伝いを戴き、感謝しております。

本論文を薦めるに当たって、貴重な資料の提供を頂いた日本道路公団 九州支社 福岡技術事務所前所長 柄木博氏、同調査課長 内野雅彦氏、同長崎管理事務所助役 諸石和弘氏、並びに熊本・長崎両県の交通関係の資料、情報を御提供下さった熊本県警察本部 交通部交通企画課 本田和子氏、長崎県警察本部 交通部交通企画課分析係長 船端研氏に併せて感謝致します。

本研究は、長崎大学の大学院学生並びに学部学生諸氏との勉強会や現地調査を行いながら進めてきました。中でも福岡市天神中央公園並びに熊本・長崎の交差点における画像解析におきましては、亀谷一郎氏（現 国土交通省九州整備局大隅工事事務所）や小野寺明氏（現 長崎市役所）、またロードキル現地調査のデータ整理、写真撮影やフラクタル解析を一緒に進めた川内透氏（現 九鉄工業(株)）、前間英一郎氏（現 扇精光(株)）、前川芳秀氏（現 (株)新井組）、さらに論文作成に当たっては長崎大学大学院博士課程の後藤健介氏、渡辺浩平氏など多くの方々のご協力により、成果を得ることができました。心から御礼申し上げます。

研究の基礎となった空間周波数解析を実行するうえで、解析プログラムを利用しやすいよう改良するにあたっては、今村幸祐 博士（現 金沢大学工学部助手）に多大なご尽力を賜り、感謝いたします。

筆者が基礎地盤コンサルタンツ（株）に在籍しながら、長崎大学の博士課程に進学するに当たっては、大学院入学を快諾していただくとともに社内の色々な方々にお世話になりました。特に、本社事業本部長 是枝慶一氏には入学時の配慮等多大なお世話になり、お陰で道が開けました。また、前任地の九州支社支社長 斉藤芳徳氏ならびに現在所属します四国支店では、支店長 大岸敏正氏を始めとする職場の上司、同僚から多くの励まし、ご指導並びにご協力をいただき、色々とお世話になりました。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

本研究は、以上の方々をはじめとする社内外の諸先生方、先輩方のご指導、ご協力がなくてはなしえなかったものであり、ここに記して深く感謝申し上げる次第です。

論文完成までたゆまぬエールを送ってくれた父、母そして齢百歳を迎える祖母や矢野家の義母の心からの支援に感謝します。

最後に、仕事と研究の両立を成し遂げるため全面的に協力し、暖かく見守ってくれた妻恭子に対して、心から感謝して結びといたします。